

平成 1 9 年度

小型予圧式新形状羽根ポンプに関する技術開発

報告書

平成 2 0 年 3 月
社団法人 日本船用工業会

はしがき

本報告書は、競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成18年度及び、平成19年度に社団法人日本舶用工業会が実施した「小型予圧式新形状羽根ポンプに関する技術開発」事業の成果をとりまとめたものである。

船舶に搭載される機器は、据付面積の節減と艀装工数の削減、更にメンテナンスの容易さも加味した、軽量コンパクトな製品が求められており、ポンプについても同様である。ポンプでは高速回転によって小型化を計ることができるが、高速回転することにより、キャビテーションが発生して吸込性能が劣化するため、容易に高速回転化できない状況にある。

本事業は、ポンプ内に予圧部を儲け、キャビテーション発生時においても揚水を可能とし、また、新形状羽根車を採用してポンプの高速化を実現するために、兵神機械工業(株)が実施したものである。

今回、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団にここに御礼申し上げる次第である。

平成20年3月

社団法人 日本舶用工業会

目 次

1	事業の目的	1
2	事業の目標	3
3	開発課題	3
3.1	開発する高速型ポンプの仕様要目	4
4	実施事項	5
4.1	実施経過	5
4.2	実施場所	5
4.3	実施期間	5
4.4	実施項目	5
5	事業の成果1（平成18年度実施）	8
5.1	低速型、高速型ポンプの設計・製作	8
5.2	予圧羽根車試験装置、予圧羽根車の設計製作および仕様	16
5.3	清水循環式試験設備について	20
5.4	性能試験	21
5.4.1	低速型および高速型ポンプの性能特性	21
5.4.1.1	通常運転における低速型ポンプおよび高速型ポンプ流量特性	21
5.4.1.2	低速型ポンプの各諸特性	22
5.4.1.3	高速型ポンプの各諸特性	26
5.4.2	予圧羽根車性能特性	30
5.4.3	高速型ポンプにおける組み合わせ試験	32
5.4.3.1	高速2次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験	32
5.4.3.2	新形状3次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験	40
5.4.4	平成18年度開発研究の成果および課題	48
5.4.4.1	成果	48
5.4.4.2	来年度開発課題	49
6	事業の成果2（平成19年度実施）	50
6.1	高速型ポンプの改良設計・製作	50
6.2	温水試験設備について	52

6.3	予圧羽根車の設計製作および仕様	54
6.4	性能試験	58
6.4.1	予圧羽根車単独性能試験	58
6.4.2	高速型ポンプにおける組み合わせ試験	61
6.4.2.1	高速 2 次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験	61
6.4.2.2	新形状 3 次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験	70
6.4.2.3	吸込性能試験	79
6.4.3	温水試験による高速型ポンプ性能試験	81
6.4.3.1	高速 2 次元および新形状 3 次元羽根車諸特性	81
6.4.3.2	高速 2 次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験	82
6.4.3.3	新形状 3 次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験	84
6.4.3.4	温水運転時における特性評価	86
6.4.4	温水運転時における可視化試験	87
6.4.5	平成 19 年度開発研究の成果	94
7	まとめ	95
7.1	事業成果	95
7.2	今後の課題	96

1 事業の目的

近年船舶に搭載される機器は、積荷スペースの有効利用を図る一環として、据付面積の節減と艙装工数の削減(ユニット化)、更にメンテナンスの容易さも加味した、軽量コンパクトな製品が求められており、ポンプについても同様である。ポンプでは高速回転によって小型化を計ることができるが、使用液体の飽和蒸気圧の限界によりキャビテーションが発生して吸込性能が劣化するため、容易に高速回転化できない状況にある。

本事業において開発対象となる復水ポンプは、通常、真空状態にある復水器のホットウェルから高温の復水を吸い込むため、ポンプ吸込口ではキャビテーションを発生しやすい状況にある。そのため復水ポンプではキャビテーションにより発生した気泡を取り除くために、ポンプから復水器上部へ均圧管を設置する必要がある。またポンプが規定吐出し量より少ない状態で運転した場合は、ホットウェルの水位が極度に低下して激しいキャビテーション状態になることがある。これを防ぐために吐き出し側からホットウェルに通じる再循環ラインを設けて吐き出し側の揚液の一部をホットウェルに返し水位を上げる必要がある。

さらに、船内における現実的な復水ポンプの設置位置は、復水器の下にあるホットウェルのさらに下となるため復水器との間の有効落差を確保することは難しい。すなわち有効 NPSH が小さい状態での運転を強いられるため、ポンプの回転数は 1800min^{-1} 以下になるのが通例とされている。

このように復水ポンプは特殊な船内艙装を要し、かつ厳しい吸込条件下における運転を余儀なくされるため、従来の低速回転から高速回転化によって生じる吸込性能劣化の影響により、ポンプケーシングの小型化が難しいのが現状である。しかしながら、ポンプ小型化による船内艙装への貢献度は大きく、近年の造船技術向上による船内レイアウトの簡素化に対応するため、本ポンプの開発が急務であると考えられる。

そこで本事業は吸込性能を劣化させることなく復水ポンプの高速化、小型化、省スペース化を実現する復水ポンプの開発を目的として、ポンプ本体に「予圧部」、「新形状 3次元羽根車」を導入する。復水ポンプの吸込側に導入された予圧部には特殊な予圧羽根車が装備されている。新形状 3次元羽根車は弊社独自の特殊な吸込形状を有する 3次元羽根車である。これらは同軸、同回転数で駆動され、2次元羽根車、新形状 3次元羽根車と予圧羽根車の多種にわたる組み合わせが比較検討するパラメータとして取り扱われ、吸込性能の変化を実験的に調査する。

また、本開発は、冷却清海水ポンプ、海水サービスポンプ、消火兼雑用ポンプ、ビルジ・バラストポンプ等片吸込み型ポンプ全般に広範囲に応用できるものであり、ポンプの小型軽量化により、機関室のレイアウト設計の自由度が増し、経済的な効果を得るとともに、造船関連技術の向上に資することができるものと期待される。

2 事業の目標

40m³/hの復水ポンプの例で、ポンプケーシング径を現在の約60%の大きさにすることを目標とする。

3 開発課題

本開発において取り扱う標準型復水ポンプは1800 min⁻¹、新型復水ポンプは3600 min⁻¹によって駆動されるポンプであり、開発されるポンプは新型復水ポンプとする。以下標準型復水ポンプを「低速型ポンプ」、新型復水ポンプを「高速型ポンプ」、1800 min⁻¹を「低速回転」、3600 min⁻¹を「高速回転」と称する。供試羽根車および回転数の組み合わせを表す実験形式の対応を表3.1に示す。

また、吸込性能試験を実施する際に示される吸込高さとの名称の対応を表3.2に示す。

ポンプ名称	回転数(min ⁻¹)		供試羽根車	実験形式
低速型ポンプ(標準型復水ポンプ)	低速回転	1800	低速2次元羽根車	低速2次元
			低速新形状3次元羽根車	低速新形状3次元
高速型ポンプ(新型復水ポンプ)	高速回転	3600	高速2次元羽根車	高速2次元
			高速新形状3次元羽根車	高速新形状3次元

表 3.1 ポンプ名称および実験形式対応表

吸込高さ(m)	実験名称
-3	(S3)
-4	(S4)
-5	(S5)
-6	(S6)
-7	(S7)
-8	(S8)

表 3.2 吸い込み高さおよび実験名称対応表

3.1 開発する高速型ポンプの仕様要目

低速型ポンプにおいて容量 40m³/h、揚程 25m、吸込揚程-6m、液温 60 の仕様で、一般的には外径約 280mm 且つ低速回転 (1800min⁻¹) の羽根車が採用されている。この回転数を高速回転 (3600min⁻¹) に高速化すると、羽根車径を約 150mm にすることが可能となる。本事業においてはポンプケーシング径のコンパクト化を、従来型および開発されるポンプに採用される羽根車径の比をもって規定すると共に、ポンプケーシング径を現在の約 60%の大きさにすることを目標とする。開発要目を表 3.3 に示す。

要目		低速型ポンプ	高速型ポンプ
ポンプ容量	m ³ /h	40	40
全揚程	m	25	25
吸込み揚程	m	-6	-6
液温		60	60
回転速度	min ⁻¹	1800(低速回転)	3600(高速回転)
2次元羽根車径	mm	280	150
新形状羽根車径	mm	280	150
吸込み口径	mm	90	90

表 3.3 低速型および高速ポンプ仕様一覧

4 実施事項

4.1 実施経過

実施項目		平成18年度													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
設計	低速型ポンプ	●	—	●				●	—	●					
	高速型ポンプ			●	—	●		●	—	●					
	予圧羽根車試験装置					●	—	●							
	2次元羽根車				●	—	●								
	新形状3次元羽根車								●	—	●				
	予圧羽根車										●	—	●		
試作	試験設備						●	—	●						
	試作・再検討								●	—	●				
	試験設備										●	—	●		
報告書	性能試験											●	—	●	
	データ解析												●	—	●
	まとめ												●	—	●

実施項目		平成19年度												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
設計	予圧羽根車新作		●	—	●									
	可視化吸込管改良									●	—	●		
試作	予圧羽根車				●	—	●							
	可視化吸込管									●	—	●		
設備	温水試験設備						●	—	●					
	性能試験									●	—	●		
報告書	データ解析									●	—	●		
	総合評価											●	—	●
	報告書作成												●	—

表 4.1 実施経過

4.2 実施場所

兵神機械工業株式会社 本社工場

4.3 実施期間

平成 18 年 4 月 ~ 平成 20 年 2 月

4.4 実施項目

本開発は平成 18 年度 ~ 19 年度の 2 か年計画で行うものとする。以下に実施した内容を以下に示す。

平成 18 年度

- ・ 実験装置の設計、製作
 - 本開発で取り扱う低速型ポンプ（1800min⁻¹）、高速型ポンプ（3600 min⁻¹）、予圧羽根車試験装置（1800 min⁻¹、3600 min⁻¹）を設計、製作した。予圧羽根車試験装置はモータ交換することにより回転数の変化に対応した。
- ・ 2次元および新形状 3次元羽根車単独性能試験（清水試験運転）
 - 低速型、高速型ポンプに使用される 2次元羽根車、新形状 3次元羽根車を単独運転することにより、組み合わせ性能試験比較の基礎データを採取した。
- ・ 予圧羽根車単独性能試験（清水試験運転）
 - 平成 18 年度製作した 5 つの予圧羽根車の性能試験を実施した。低速回転、高速回転に分けて単独運転を実施した。
- ・ 組み合わせ要素試験（清水試験運転）
 - 2次元および新形状 3次元羽根車、予圧羽根車の性能試験を実施した。低速回転、高速回転に分けて単独運転を実施した。
- ・ 平成 18 年度試験結果取りまとめ
 - 上記各種羽根車単独試験、ならびに組み合わせ試験を低速型、高速型に分けてデータを考察した。
 - 予圧羽根車の性能試験と組み合わせ試験の結果から、来年度製作する予圧羽根車仕様を決定する。

平成 19 年度

- ・ 実験装置の改良設計、製作
 - 高速型ポンプ吸込部分の流動状態を可視化するために吸込部を新作した。従来の可視化区間 100mm を 400mm に延長することにより、吸込部上流側の流動状態を確認することができた。
 - 温水試験に備えて真空タンク内の温度調整を自動化した。
- ・ 予圧羽根車再設計、試作
 - 平成 18 年度製作した組み合わせ性能試験結果より、新たに 5 つの予圧羽根車を設計、試作した。
 - 試作された各予圧羽根車は清水を用いて試験された。昨年度の結果から、低速よりも高速回転により運転する方が良好な結果が得られたために、本年度

は高速回転に注目して試験を実施した。

- ・ 高速型ポンプにおける組み合わせ性能試験（清水試験運転）
 - 平成 19 年度新作した予圧羽根車を組み合わせて性能試験を実施した。
 - 各種組み合わせ試験における吸込性能試験より要求 NPSH を算出した。
- ・ 高速型ポンプにおける組み合わせ性能試験（温水試験運転）
 - 高速型ポンプにおいて 2 次元羽根車、新形状 3 次元羽根車を単独運転することにより温水試験時における性能比較基礎データを採取した。
 - 各種組み合わせ試験により開発目標の確認および、単独試験時と組み合わせ試験時の性能比較を実施した。
 - 組み合わせ試験時における可視化実験により吸込口に発生するキャビテーションの状態を確認、撮影した。

5 事業の成果 1(平成 18 年度実施)

5.1 低速型、高速型ポンプの設計・製作

本開発で取り扱う低速型ポンプを図 5.1.1 および写真 5.1.1、吸込み部を写真 5.1.3 に示し、高速型ポンプを図 5.1.2、写真 5.1.2 に、吸込み部を写真 5.1.4 に示す。低速型、高速型ポンプはそれぞれ低速回転、高速回転によって駆動される。羽根車吸込口を可視化するために吸込部にアクリル製パイプを採用した。アクリルパイプの内径は羽根車吸込口と同径の 90mm とした。

写真 5.1.5~5.1.8 は低速型ポンプ、高速型ポンプに採用された低速および高速 2 次元羽根車と新形状 3 次元羽根車である。前述の表 3.3 にも示したように低速型ポンプおよび高速型ポンプに採用された各羽根車外径は後の性能比較のために共通とした。すなわち低速型ポンプに採用される低速 2 次元羽根車、低速新形状 3 次元羽根車外径は 280mm、高速型ポンプに採用される高速 2 次元羽根車、高速新形状 3 次元羽根車外径は 150mm として設計されている。

なお参考として低速型および高速型ポンプに採用したモータの仕様を表 5.1.1 に、装備された 2 次元羽根車を写真 5.1.9、5.1.10 に示す。

型式	電力 (KW)	電流 (A)	回転数 (min^{-1})	電圧 (V)	周波数 (Hz)	質量 (Kg)	フレーム No
2TH7.5	7.5	12.5	3510	440	60	62	N132S
4TH7.5	7.5	12.5	1740	440	60	80	N132M

表 5.1.1 モータ仕様一覧



写真 5.1.1 低速型ポンプ本体



写真 5.1.2 高速型ポンプ本体

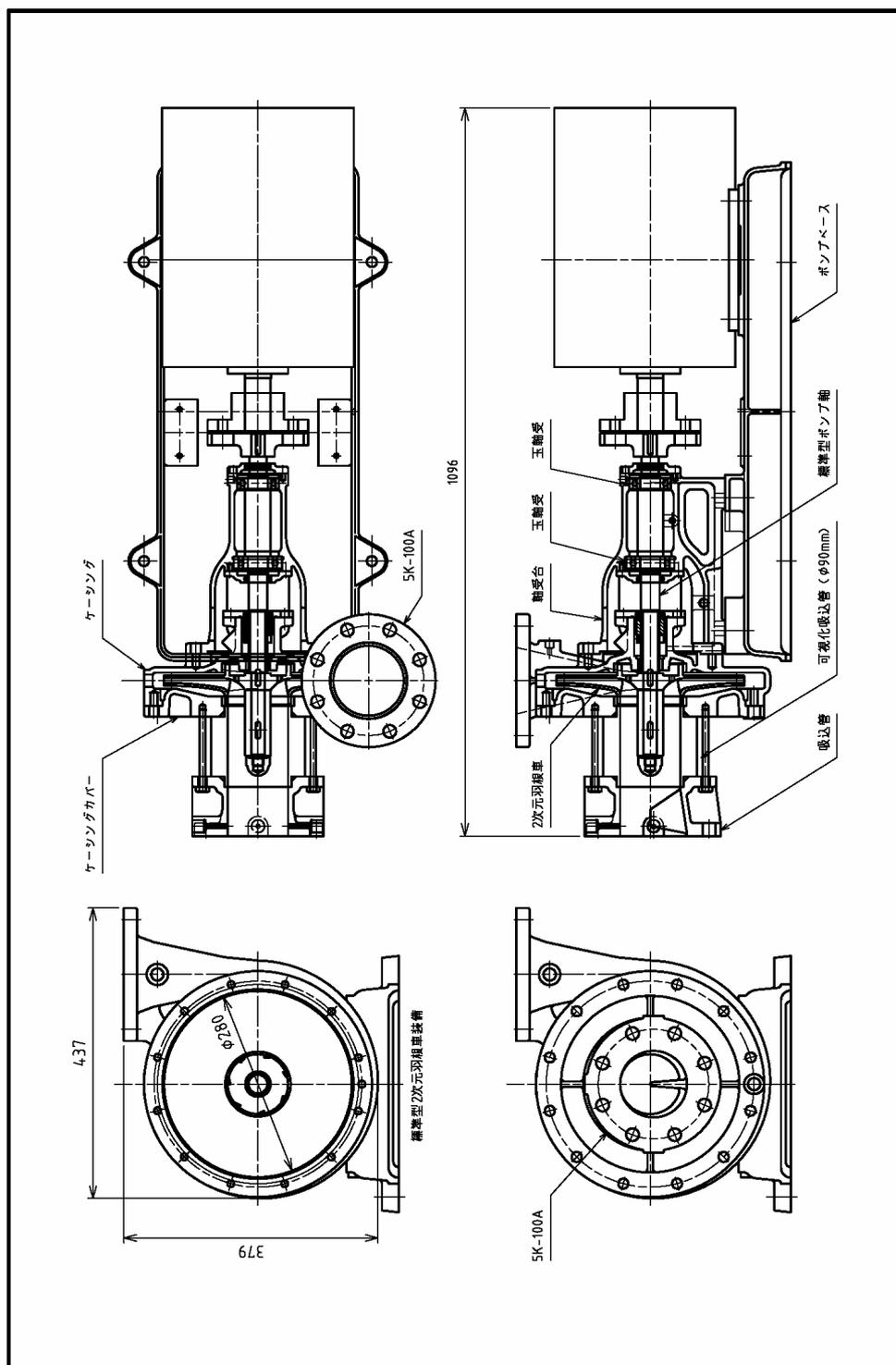


図 5.1.1 低速型ポンプ外形図

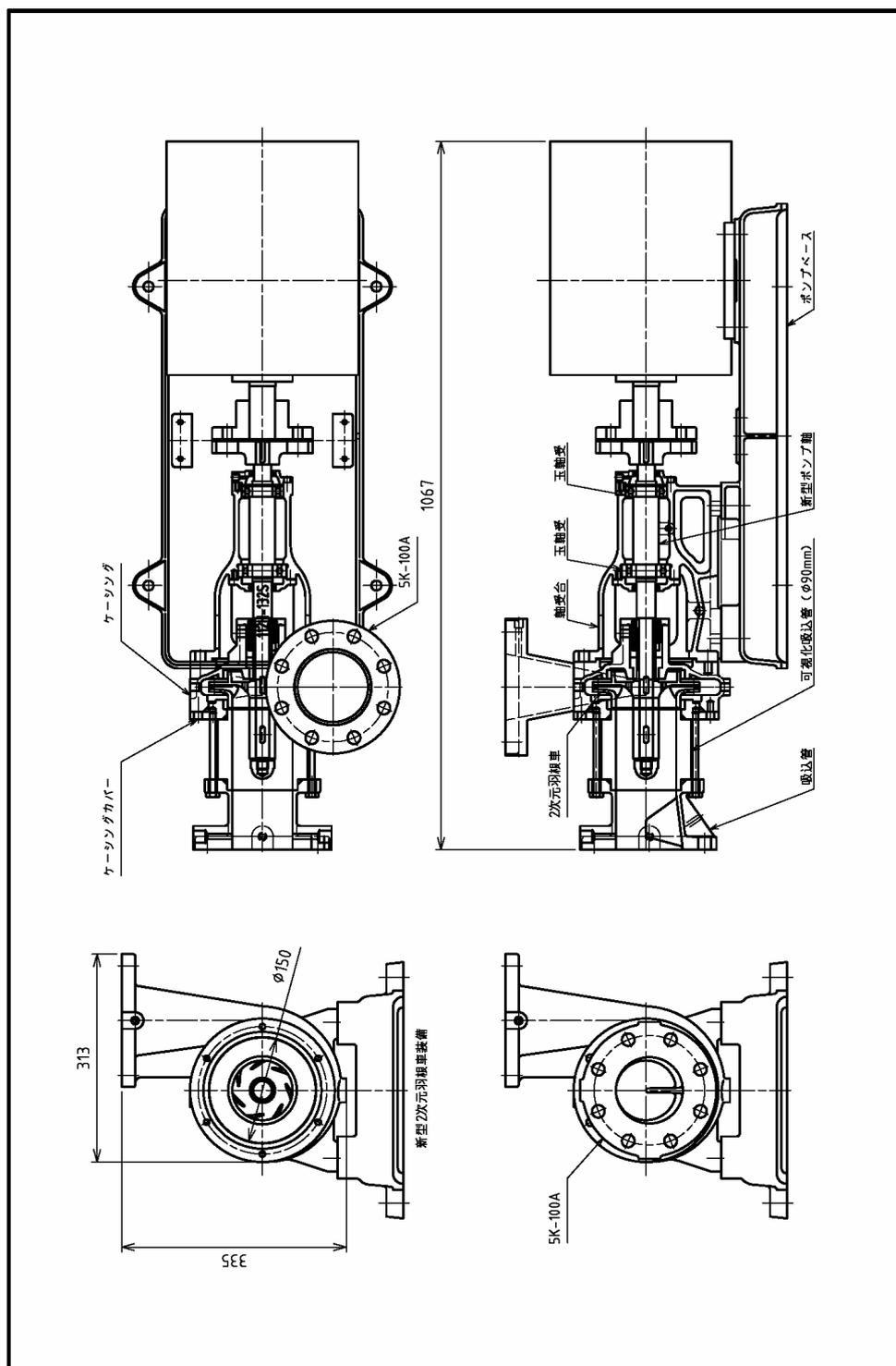


図 5.1.2 高速型ポンプ外形図



写真 5.1.3 低速型ポンプ吸込み部



写真 5.1.4 高速型ポンプ吸込み部



写真 5.1.5 低速 2 次元羽根車



写真 5.1.6 低速新形状 3 次元羽根車



写真 5.1.7 高速2次元羽根車



写真 5.1.8 高速新形状3次元羽根車



写真 5.1.9 低速型ポンプ低速 2次元羽根車装備



写真 5.1.10 高速型ポンプ高速 2次元羽根車装備

5.2 予圧羽根車試験装置、予圧羽根車の設計製作および仕様

本開発で取り扱う予圧羽根車試験装置の外形図を図 5.2.1、装置全体写真を写真 5.2.1、吸込部を写真 5.2.2 に示す。予圧羽根車を通過する流体の流動状態を可視化するため、吸込部にアクリル製パイプを採用した。アクリルパイプの内径は予圧羽根車外形を考慮して 90mm とした。試験は低速回転、および高速回転により実施されるが、予め用意されたモータを交換することで対応する。なお使用したモータの仕様は表 5.2.1 に示す。

本開発において取り扱う予圧羽根車の仕様を表 5.2.2、外形写真を写真 5.2.3 に示す。3次元加工機による切削加工によって製作された予圧羽根車はいずれも真鍮製、直径 89mm の 3枚羽根であり、可視化部分および羽根先端の半径隙間を片側 0.5mm、羽根厚さを 3mm とした。実験は低速型および高速型ポンプに組み合わせることを想定して TYPE1,2,3 については低速回転および高速回転、TYPE4 は低速回転、TYPE5 は高速回転によって行われる。表 5.2.3 に駆動状態と供試羽根車の対応表を示す。

型式	電力(KW)	電流(A)	回転数(min^{-1})	電圧(V)	周波数(Hz)	質量(Kg)	フレームNo
2TL3.7	3.7	6.3	3495	440	60	45	N112M
4TL3.7	3.7	6.5	1730	440	60	45	N112M

表 5.2.1 モータ仕様一覧

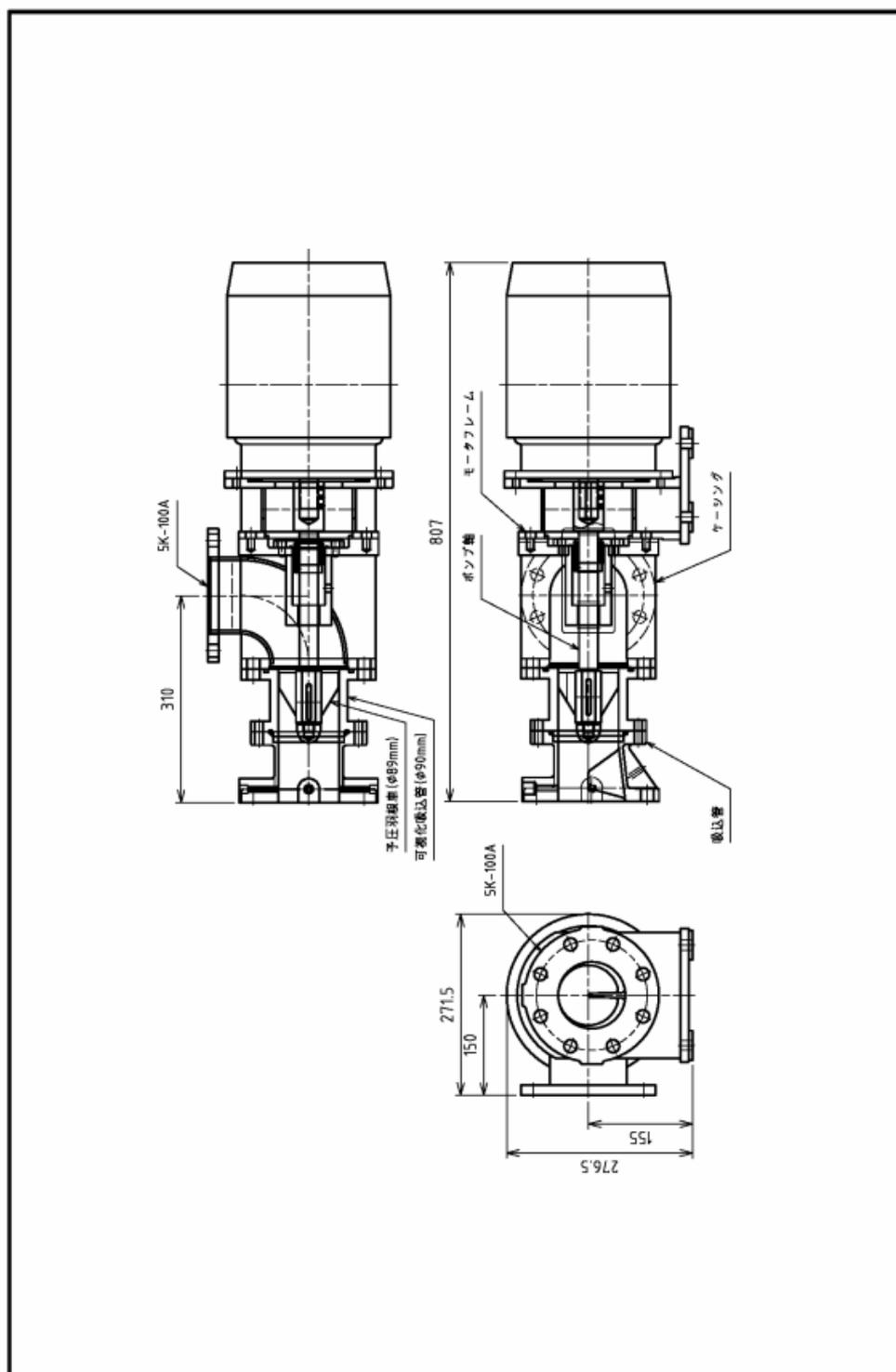


図 5.2.1 予圧羽根車試験装置外形図



写真 5.2.1 予圧羽根車試験装置全体



写真 5.2.2 予圧羽根車試験装置吸込み部



写真 5.2.3 予圧羽根車外形写真 [上段左より TYPE1,2,3 下段左より TYPE4,5]

要目		TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	TYPE5
直径	mm	89	89	89	89	89
羽根先端隙間	mm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
羽根枚数	-	3	3	3	3	3
羽根入口角度	deg	10	15	20	16	8.2
羽根出口角度	deg	10	15	20	40	13.2
軸方向長さ(羽根先端)	mm	46.6	70.7	70.7	70	64.7
弦節比	-	2.88	2.93	2.21	1.38	1.29

表 5.2.2 予圧羽根車仕様一覧

ポンプ名称	回転数(min^{-1})		供試羽根車		名称
予圧羽根車試験装置	低速回転	1800	TYPE1	ヘリカル	T1
			TYPE2	ヘリカル	T2
			TYPE3	ヘリカル	T3
			TYPE4	3次元	T4
	高速回転	3600	TYPE1	ヘリカル	T1
			TYPE2	ヘリカル	T2
			TYPE3	ヘリカル	T3
			TYPE5	3次元	T5

表 5.2.3 予圧羽根車名称対応表

5.3 清水循環式試験設備について

本開発における試験装置のフロー図を図 5.3.1 に示す。低速型ポンプ、高速型ポンプ、予圧羽根車試験装置による全試験において清水循環式ラインとした。原水槽からの吸込高さは約 1.5m であり、吸込性能試験を実施する際、吸込側バルブを操作して吸込揚程を調節する。

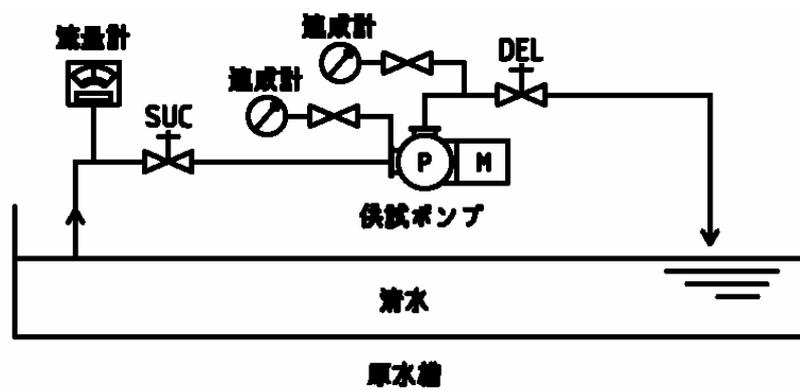


図 5.3.1 清水試験装置フロー図

5.4 性能試験

5.4.1 低速型および高速型ポンプの性能特性

5.4.1.1 通常運転における低速型ポンプおよび高速型ポンプ流量特性

Suction 開放時（吸込側バルブ開放時）における低速型ポンプおよび高速型ポンプの性能特性結果を図 5.4.1.1.1 に示す。なお吸込み側バルブを全開にした運転状態を、以後「通常運転」とする。

低速型ポンプにおける低速 2 次元羽根車と低速新形状 3 次元羽根車を比較すれば、低速新形状 3 次元羽根車の高流量域において流量が若干増大しているものの、流量特性はほぼ重なっており、大幅な吸込性能の改善には至っていない。

高速型ポンプの高速 2 次元羽根車による流量特性においては低速型ポンプの低速 2 次元羽根車性能特性と比較すれば最高流量値は減少しているが、締め切り圧力は約 30% ほど増大しており、かつ設計仕様点において全揚程が若干増大している。この現象は設計仕様と高速回転化によるものであるが、開発目標としている数値を満たしており比較検討するに問題はないと判断する。高速 2 次元羽根車と高速新形状 3 次元羽根車の流量特性を比較すれば、その特性はほぼ一致するものの過大流量域において高速新形状 3 次元羽根車の最大流量値が約 20% ほど増大していることが分かる。

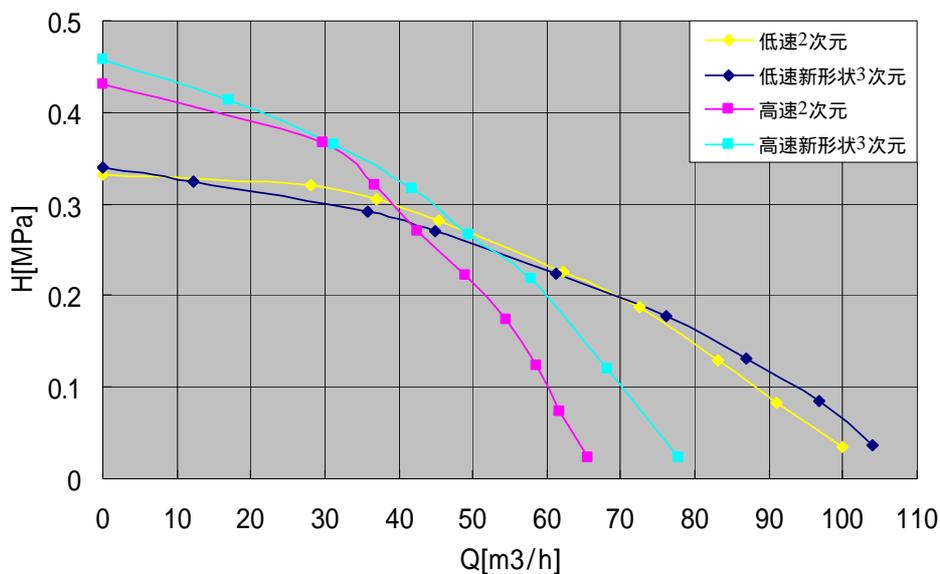


図 5.4.1.1.1 低速型および高速型ポンプ性能試験（通常運転）

5.4.1.2 低速型ポンプの各諸特性

図 5.4.1.2.1 は低速型ポンプによる低速 2 次元羽根車の流量特性を示す。締め切り圧力は 0.33MPa、最大流量値は約 100 m³/h であり、通常運転から Suction-6m まで重なり合う傾向となった。Suction-7m、-8m になると、吸込性能劣化のため揚程が急落していることが示されている。図 5.4.1.2.2 に示す軸動力については流量特性の結果に対応して、揚程低下に伴い軸動力も低下していることがわかる。また過大流量域においては定格動力を超えており、取り扱いには注意が必要となる。図 5.4.1.2.3 に示す軸効率については最高効率値として約 55%を示しており、通常運転時における効率とほぼ一致した傾向となる。Suction-7m、-8m では吸込性能の劣化が影響して急落していることが示されている。

図 5.4.1.2.4 は低速型ポンプによる低速新形状 3 次元羽根車の流量特性を示す。締め切り圧力は 0.33MPa、最大流量は約 105 m³/h となった。低速 2 次元羽根車の結果と同様に、吸込性能が劣化すると揚程急落が現れているが、Suction-7m、-8m における結果に注目すれば、揚程急落現象は低速 2 次元羽根車のそれと比較すれば緩やかであり、吸込性能劣化に対して改善効果があることが認められる。図 5.4.1.2.5 に示す軸動力については低速 2 次元との結果と同様の傾向を示しているが、同じく定格動力を超える結果となった。図 5.4.1.2.6 に示す軸効率は低速 2 次元羽根車と比較すればほぼ同様の傾向を示しており最高効率値で約 55%を示している。流量特性に見ら得る吸込性能改善効果に対応して軸効率にもその傾向が確認することができた。

以上の結果より低速型ポンプに採用された低速 2 次元羽根車と低速新形状 3 次元羽根車は、軸動力については低速新形状 3 次元羽根車がやや上回り、定格動力を超える結果を得た。しかしながら低速回転による運転における吸込性能については比較的良好であるため大幅な改善にはいたらなかったが、過大流量域における若干の流量増加を得たため新形状 3 次元根車は通常の 2 次元羽根車と比較すると吸込性能に関しては有利であることが示されている。

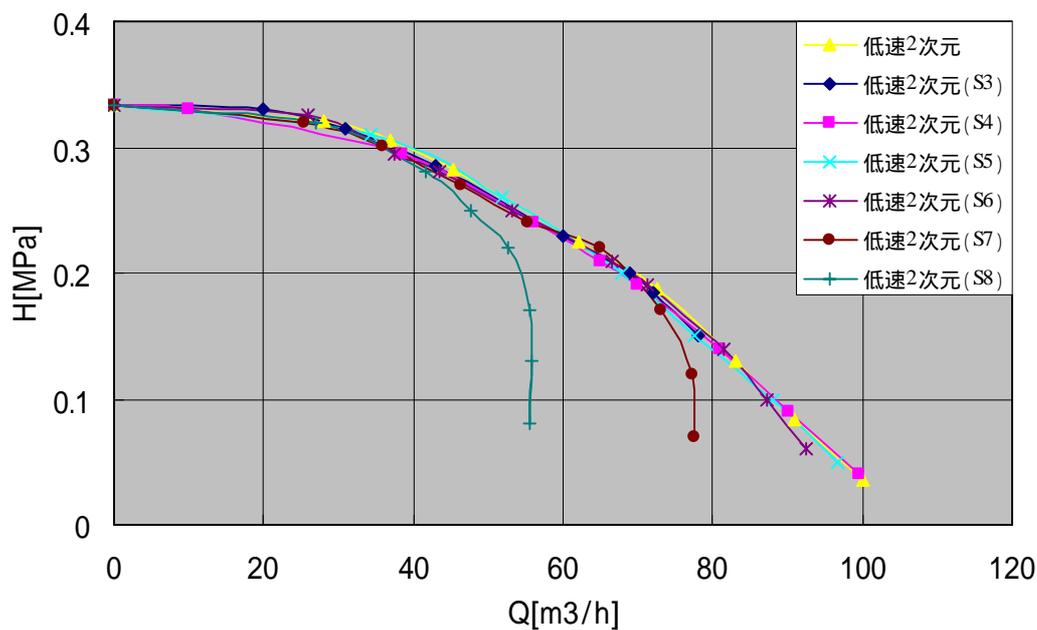


图 5.4.1.2.1 低速 2 次元羽根車性能試験（流量特性）

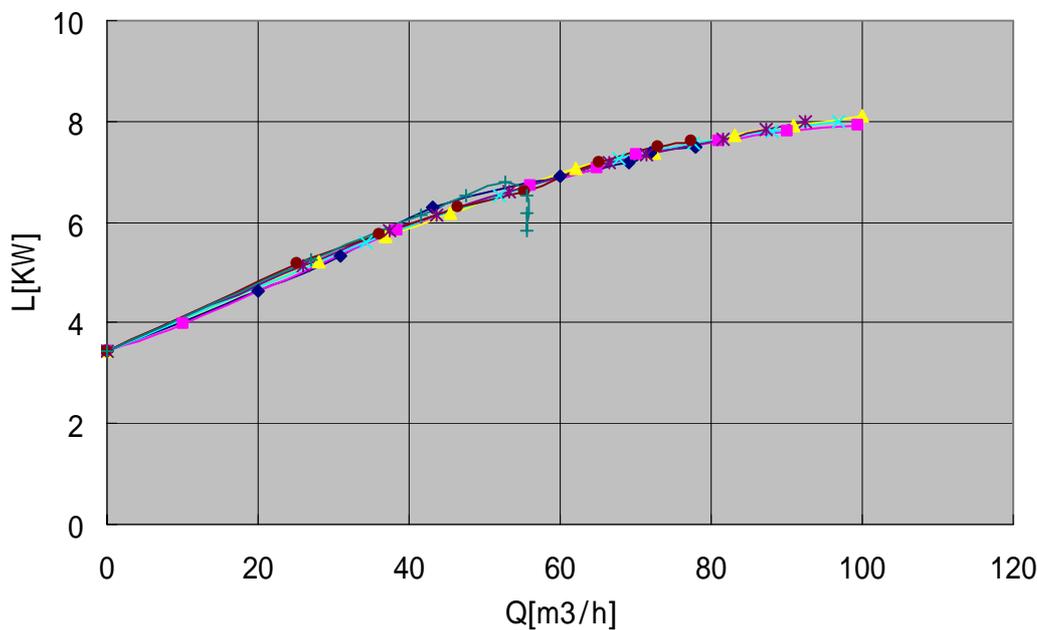


图 5.4.1.2.2 低速 2 次元羽根車性能試験（軸動力）

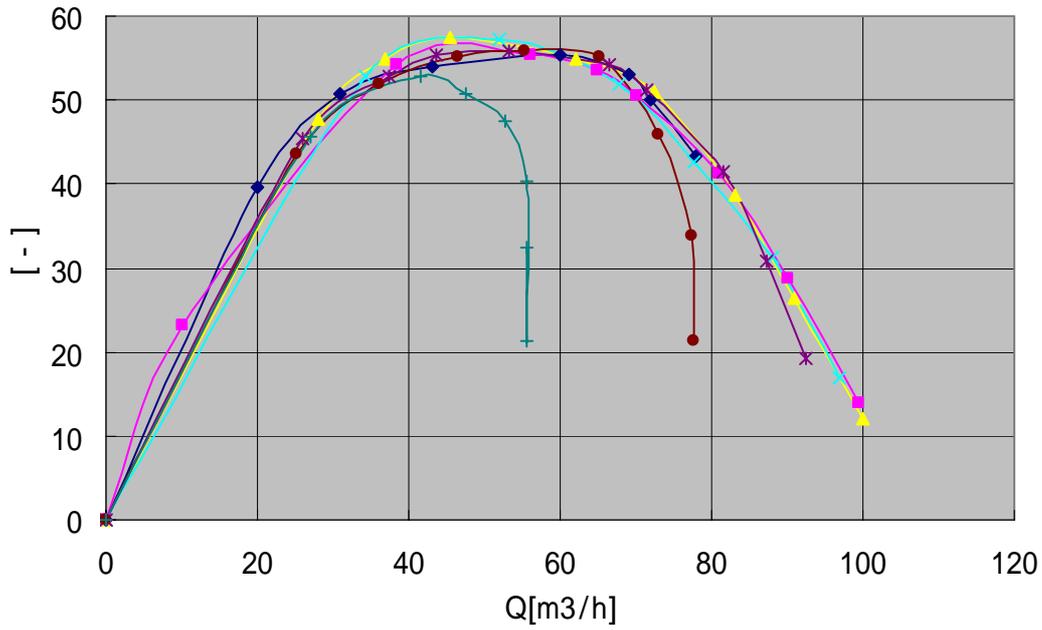


图 5.4.1.2.3 低速 2 次元羽根車性能試験（軸効率）

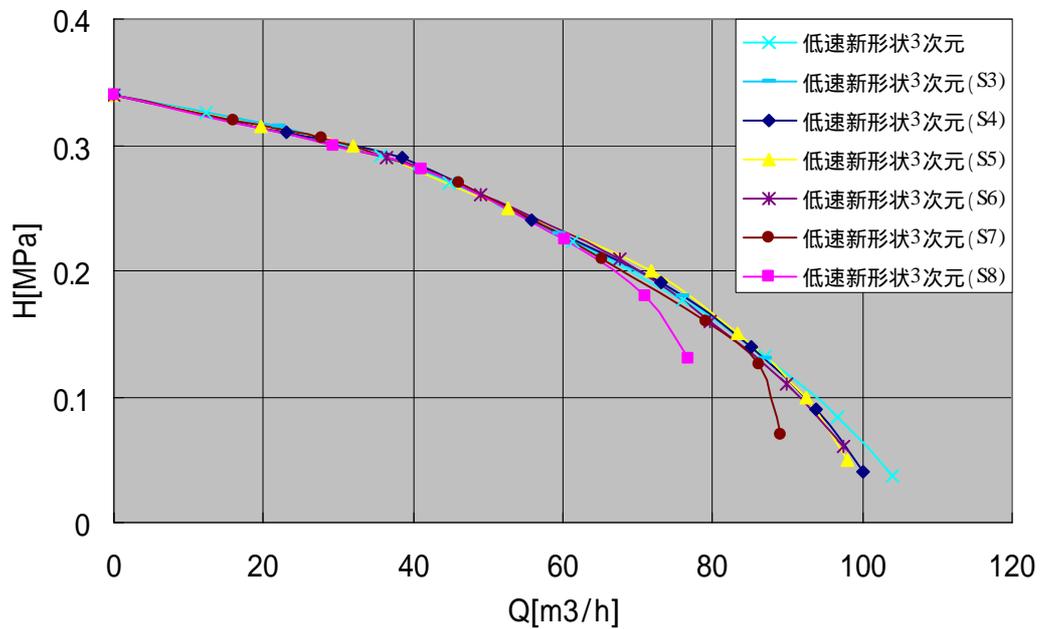


图 5.4.1.2.4 低速新形状 3 次元羽根車性能試験（流量特性）

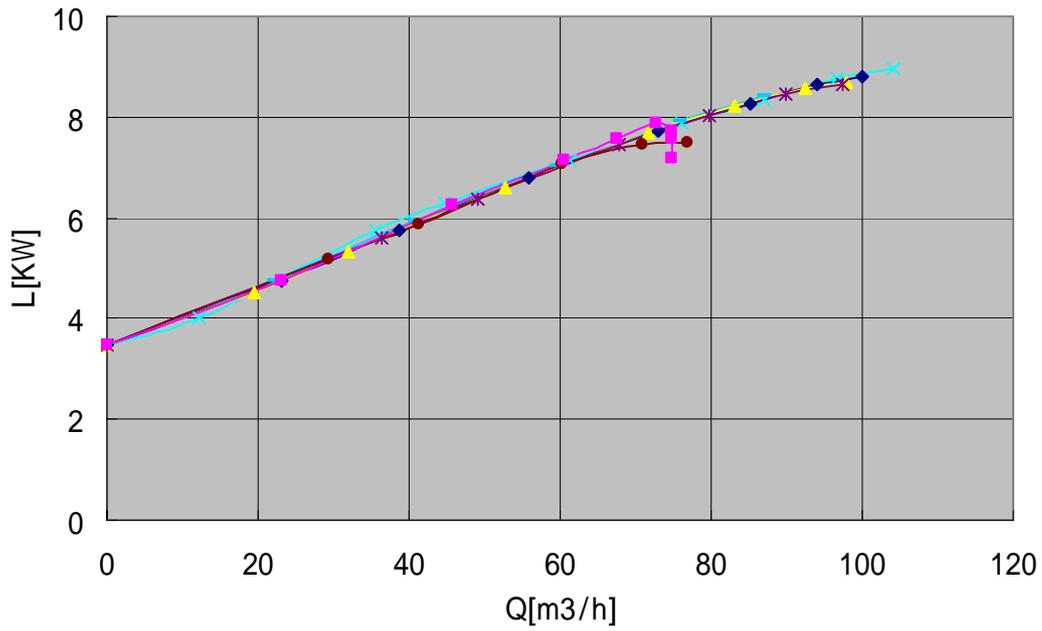


図 5.4.1.2.5 低速新形状 3 次元羽根車性能試験 (軸動力)

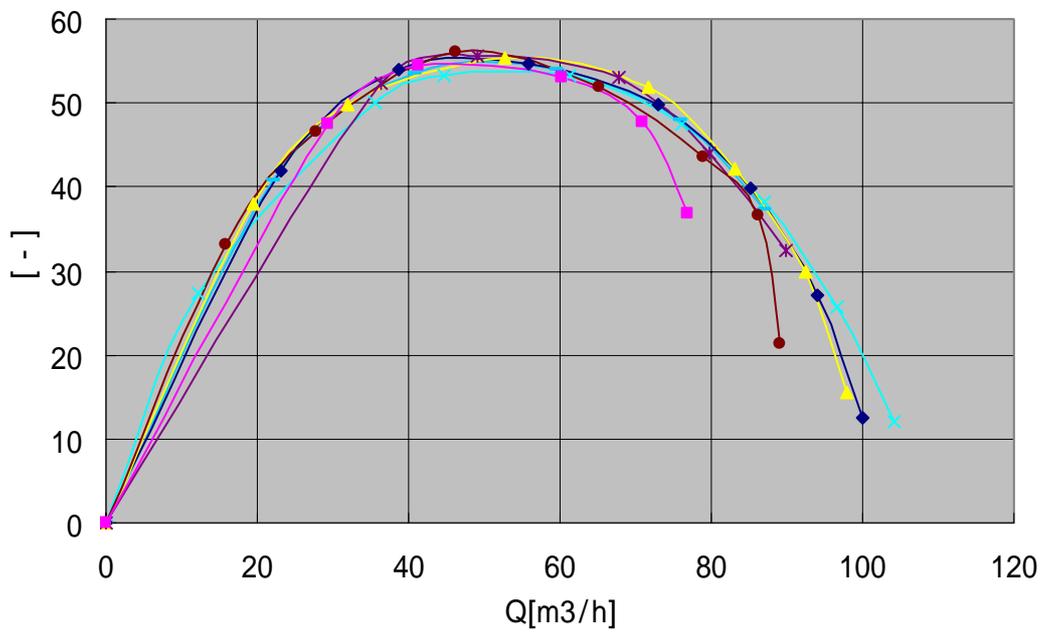


図 5.4.1.2.6 低速新形状 3 次元羽根車性能試験 (軸効率)

5.4.1.3 高速型ポンプの各諸特性

図 5.4.1.3.1 は高速型ポンプによる高速 2 次元羽根車の流量特性を示す。締め切り圧力は 0.42MPa、最大流量は約 65 m³/h であり通常運転時から Suction-4m についてはよい一致を示す。Suction-5m より過大流量域において徐々に揚程が減少しており、Suction-7m、-8m になると急激に揚程が減少している。すなわち高速回転による吸込性能劣化が顕著に現れている結果といえる。図 5.4.1.3.2 に示す軸動力については流量特性と同様の傾向を示しており揚程減少に伴って軸動力が低下していることが分かる。図 5.4.1.3.3 に示す軸効率においては最高効率値が約 55%を示している。流量特性に示されるように揚程が低下するにしたがって軸効率も低下していることが分かる。

図 5.4.1.3.4 は高速型ポンプによる高速新形状 3 次元羽根車の流量特性を示す。締め切り圧力は 0.45MPa、最大流量は約 78 m³/h となった。高速 2 次元羽根車の結果と同様に吸込性能が劣化すると、揚程が急激に減少する傾向は同様であるが、高速 2 次元羽根車の結果と比較すれば、吸込性能劣化は改善されており過大流量域における最大流量値が増大する結果を得た。低速型では大きな差異はなかったが、高速型になると吸込性能が劣化する傾向が強くなるため 2 次元羽根車と新形状 3 次元羽根車の差が顕著に現れている。図 5.4.1.3.5 に示す軸動力についても流量特性に対応する結果となったが軸動力が増加している傾向は低速新形状 3 次元の結果と同様である。図 5.4.1.3.6 に示す軸効率においては、最高効率値で約 57%を示しており低速型ポンプの結果と比較すると 2%ほど上昇している。全域における効率の挙動は流量特性に対応する傾向を示しており、揚低が急激に減少すると効率も急減少しているのは低速型ポンプにおける試験結果と同様である。

以上の結果より高速型ポンプに採用された高速 2 次元羽根車と高速新形状 3 次元羽根車は、締め切り圧力についてはほぼ同値を示すが、過大流量域における最大流量値が増大している。一方で、軸動力については流量増加に伴い増加する結果となったが低速型ポンプにおける結果のように定格動力には至っていない。軸効率については新形状 3 次元において 2%ほどの軸効率上昇を示しており、新形状羽根車が後の組み合わせ試験における吸込性能の改善に寄与すると考えられるため、今後の開発における主羽根車として取り扱うことにする。

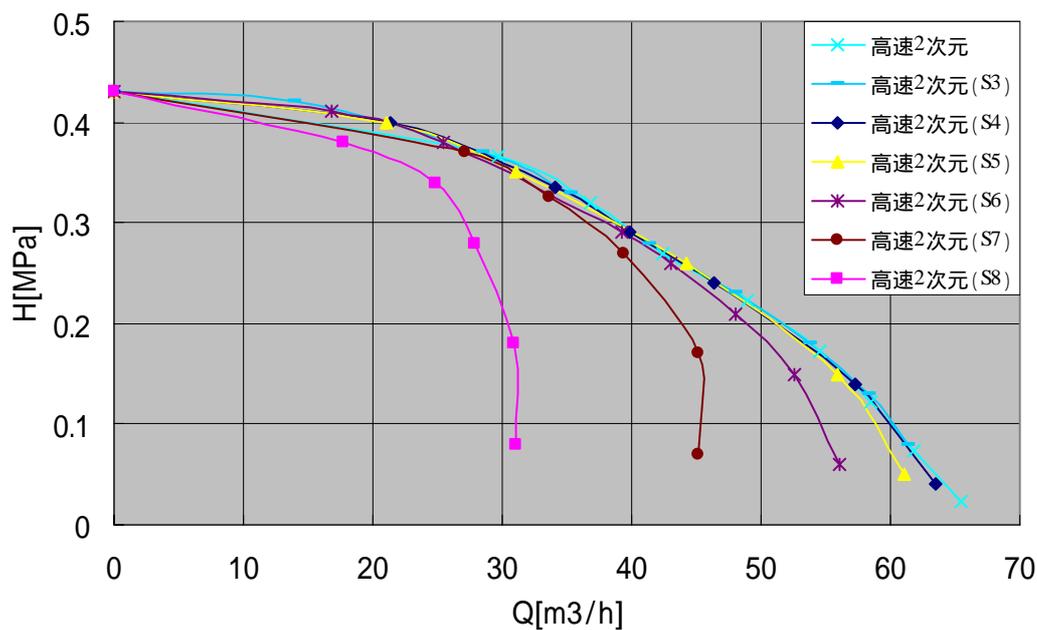


图 5.4.1.3.1 高速 2 次元羽根車性能試験（流量特性）

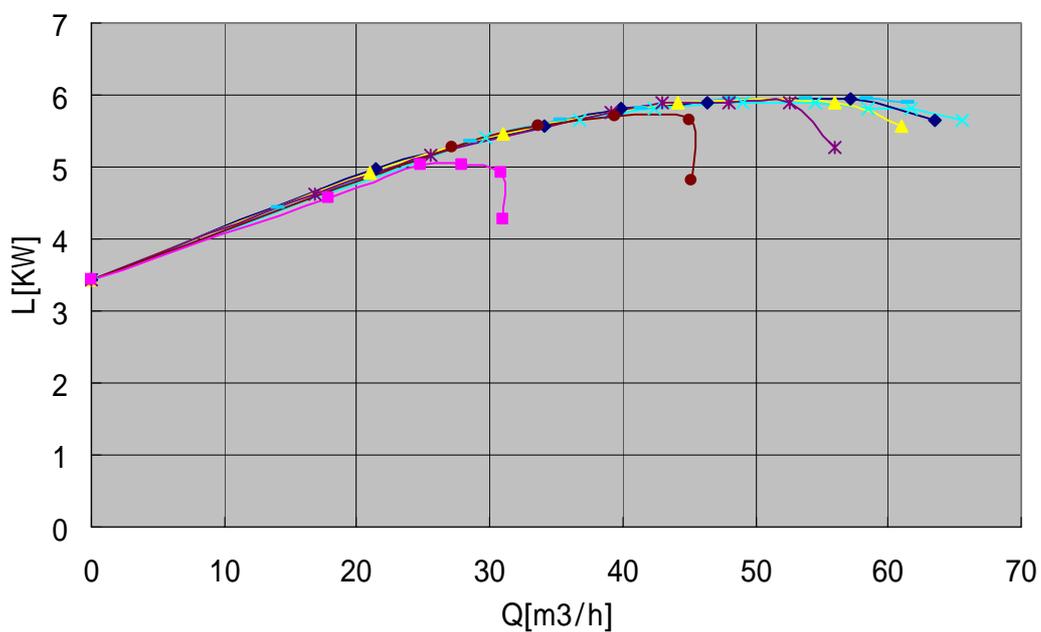


图 5.4.1.3.2 高速 2 次元羽根車性能試験（軸動力）

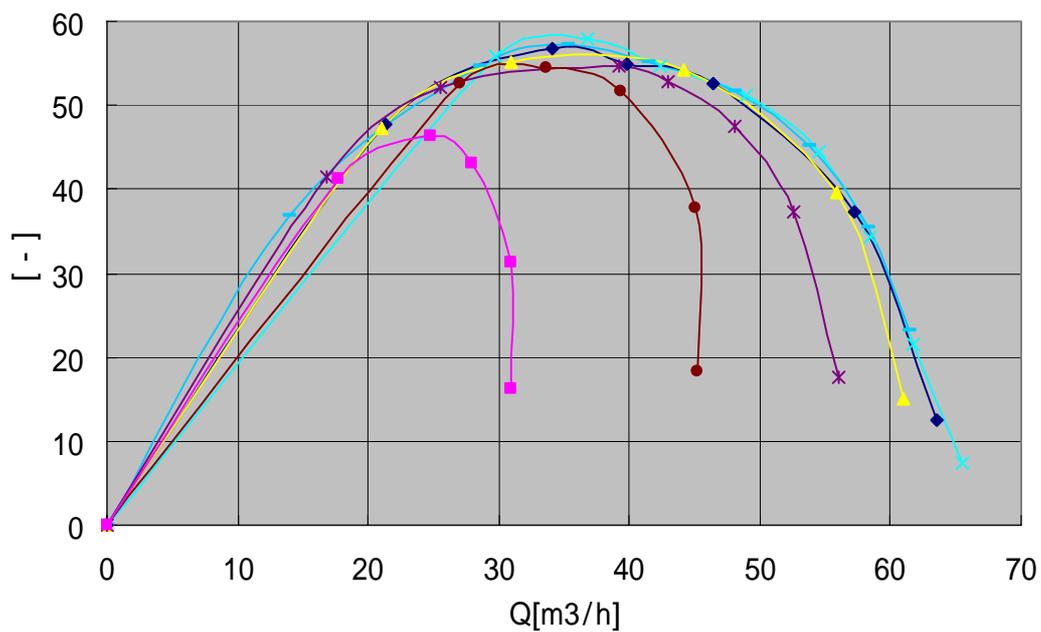


图 5.4.1.3.3 高速 2 次元羽根車性能試験 (軸効率)

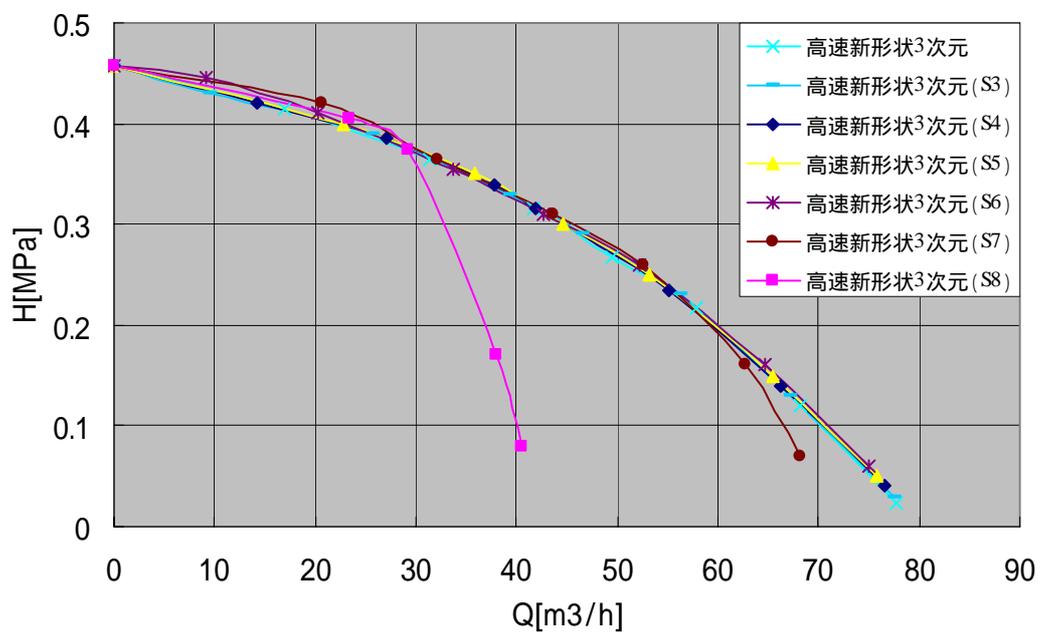


图 5.4.1.3.4 高速新形状 3 次元羽根車性能試験 (流量特性)

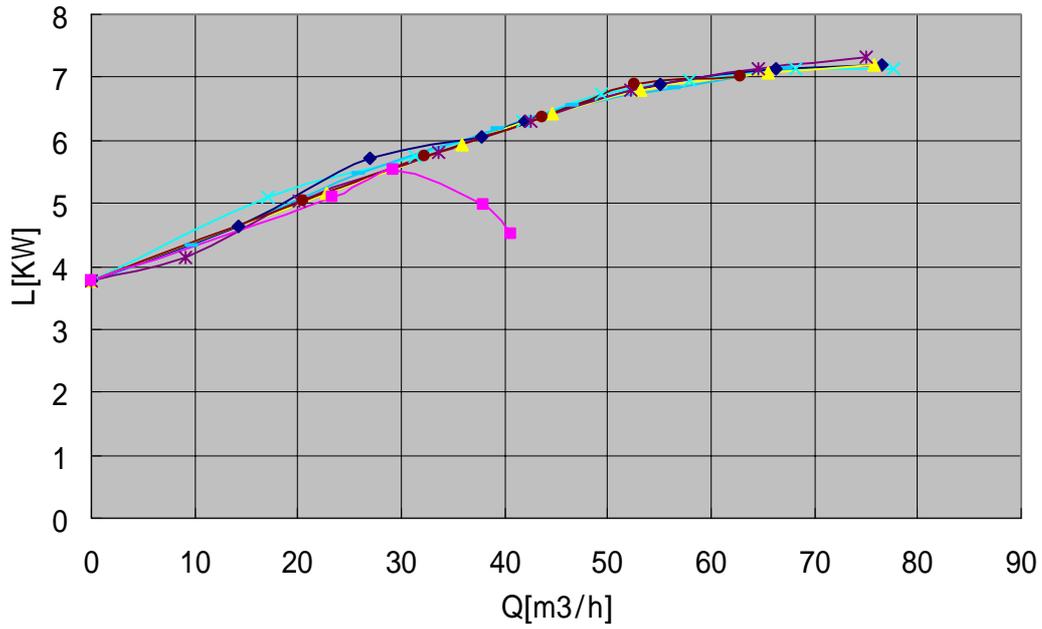


图 5.4.1.3.5 高速新形状 3 次元羽根車性能試験（軸動力）

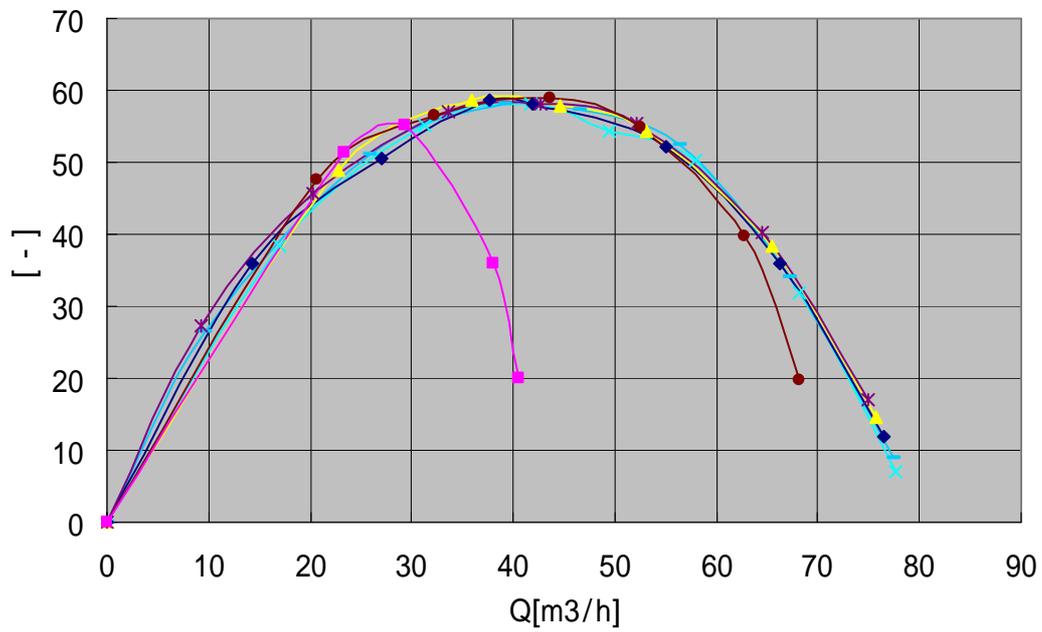


图 5.4.1.3.6 高速新形状 3 次元羽根車性能試験（軸効率）

5.4.2 予圧羽根車性能特性

図 5.4.2.1 は低速回転における予圧羽根車の性能曲線を示す。全ての試験において右下がりの傾向を示しており、全揚程の値は主羽根車の値と比べると低いオーダーである。ヘリカル形 TYPE1,2,3 において比較すれば TYPE2,3 の最大流量値が増大している傾向にあるものの、全揚程については若干下回っている。低速回転に合わせて設計された TYPE4 において 4 パターンの中では全域において全揚程が高くなっているが、すべての羽根車において $20\text{m}^3/\text{h}$ 以下となっており流量、揚程共に低いレベルに留まっている結果を得た。

図 5.4.2.2 は高速回転における予圧羽根車の性能曲線を示す。TYPE5 については高速回転に合わせて製作された 3 次元予圧羽根車である。TYPE1~3 について比較すれば低速回転時と同様に TYPE3 が最も流量が増大、かつ全揚程も 0.1MPa 付近を示している。TYPE5 については同様に右下がりの特性となり締め切り圧力も TYPE2,3 とほぼ同値であるが、他の予圧羽根車と比べると流量低下が目立つ。

予圧羽根車設計については低速回転、高速回転のいずれの場合においても適切な弦節比が存在するため、この特性については多種の羽根車を試作して傾向を調査する必要があるが、ヘリカル型、3 次元型予圧羽根車のいずれのパターンにおいても高速回転化により流量、全揚程共に増大していることが確認できた。

上記予圧羽根車試験結果に加えて、低速型および高速型ポンプによる各羽根車の性能試験結果を考慮すれば、吸込性能のよい新形状 3 次元羽根車と高速回転による予圧羽根車を組み合わせることで、さらに予圧の効果が期待できると考えられる。また小型化による高速回転化の観点からして、今後本開発を進めるにあたり高速回転化を重視する必要があると考えられる。したがって、今後の開発においては、高速回転による試験に着目して開発を進めることにする。

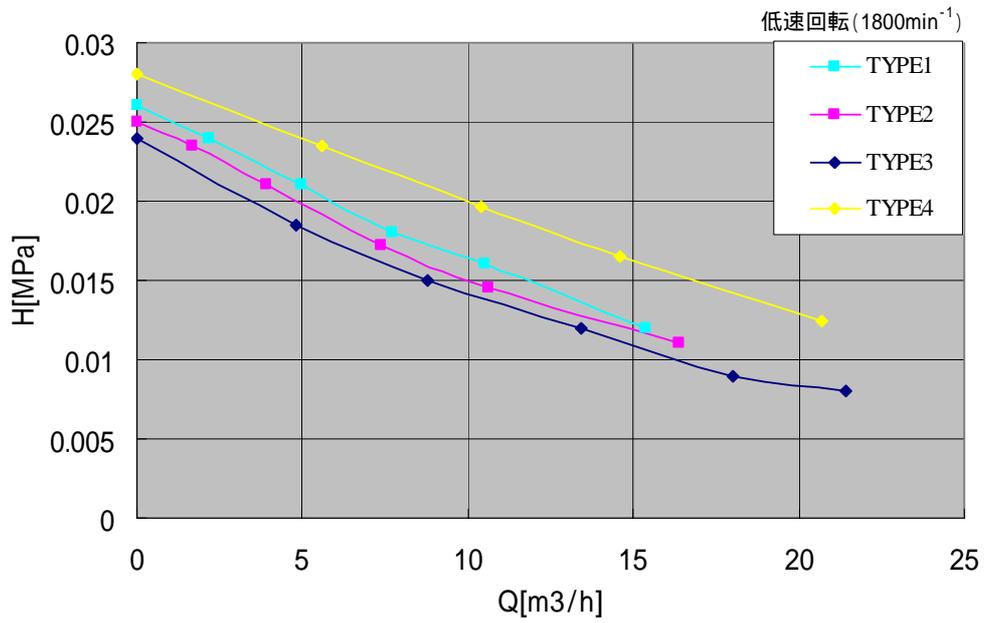


図 5.4.2.1 予圧羽根車性能試験 (低速回転)

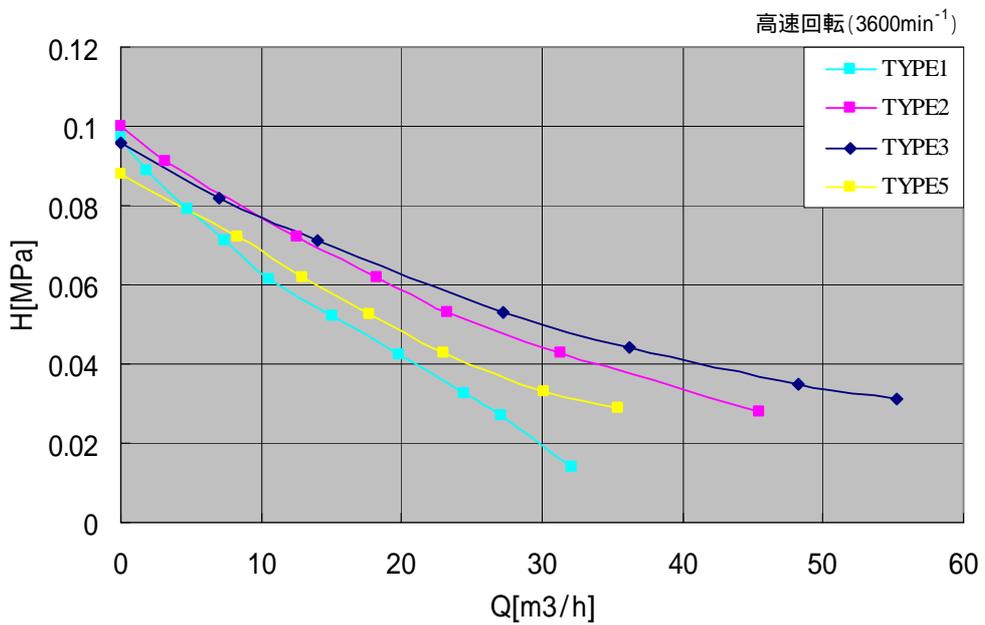


図 5.4.2.2 予圧羽根車性能試験 (高速回転)

5.4.3 高速型ポンプにおける組み合わせ試験

5.4.3.1 高速 2 次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験

図 5.4.3.1.1 から図 5.4.3.1.12 に高速 2 次元羽根車および予圧羽根車 TYPE1,2,3,5 を組み合わせさせた結果を示す。

予圧羽根車 TYPE1 組み合わせ試験結果によれば、締め切り圧力は 0.48MPa を示しており予圧の効果と考えられるが、組み合わせにおける通常運転は単独試験結果と比較して明らかなように過大流量域において揚低が急落している。これは予圧羽根車 TYPE1 の弦節比が大きく、主羽根車の吸込部を閉塞させるために生じた現象であると考えられる。軸動力については予圧羽根車を導入したことによる増加は見られず、軸効率についても最高効率値や挙動において大きな変化は見られなかった。

予圧羽根車 TYPE2 組み合わせ試験結果によれば、締め切り圧力が 0.42 から 0.5MPa に上昇しており過大流量域へとなだらかに伸びている。揚程の急低下は Suction-7, -8m で見られるが単独試験結果と比較すると大幅に改善されていることがわかる。軸動力については締め切り時の揚程増加に伴い増加しているが、全体的に単独試験と重なる傾向にあることから、組み合わせによる動力上昇は確認できなかった。軸効率については最高効率値が約 59%を示しており単独試験と比べると若干増加していることがわかる。

予圧羽根車 TYPE3 組み合わせ試験結果によれば、TYPE2 と同様の結果を得ていることがわかる。締め切り圧力については 0.47MPa と若干上昇しているが、次第にその分布が重なる傾向を示している。過大流量域においては若干の揚程降下が見られるが単独運転と比較すれば改善している傾向を示している。軸動力については揚程増加につれて軸動力も増加する傾向にあるが、設計仕様点付近以降はほぼ分布が重なる傾向を示している。軸効率については最高効率値に大きな変化は見られず、流量特性の過大流量域における改善に留まった。

予圧羽根車 TYPE5 組み合わせ試験結果によれば、TYPE5 も TYPE2、TYPE3 と同様の結果を示している。しかしながら過大流量域における揚程急落は TYPE2,3 に比べると早い段階で生じており、流量の伸びが抑制されていることがわかる。軸動力については単独試験時とほぼ分布が重なり合う傾向となっており、予圧羽根車との組み合わせによる影響は見られなかった。軸効率についても同様であり、単独試験結果と比べても分布に大きな変化は見られなかった。

これらの組み合わせ試験より TYPE1,5 においては軸動力、効率において大きな変化は見られず、過大流量域において揚程の急落が目立つ結果となった。いずれの場合も 2 次元羽根車との相性が合わず揚程回復には至らなかった。一方で TYPE2,3 は TYPE1,5 と比べると揚程低下は回復の傾向を示しているが、良好な結果として評価できない。また軸動力、軸効率についても大きな変化は見られず、組み合わせによる効率の上昇は得られなかった。

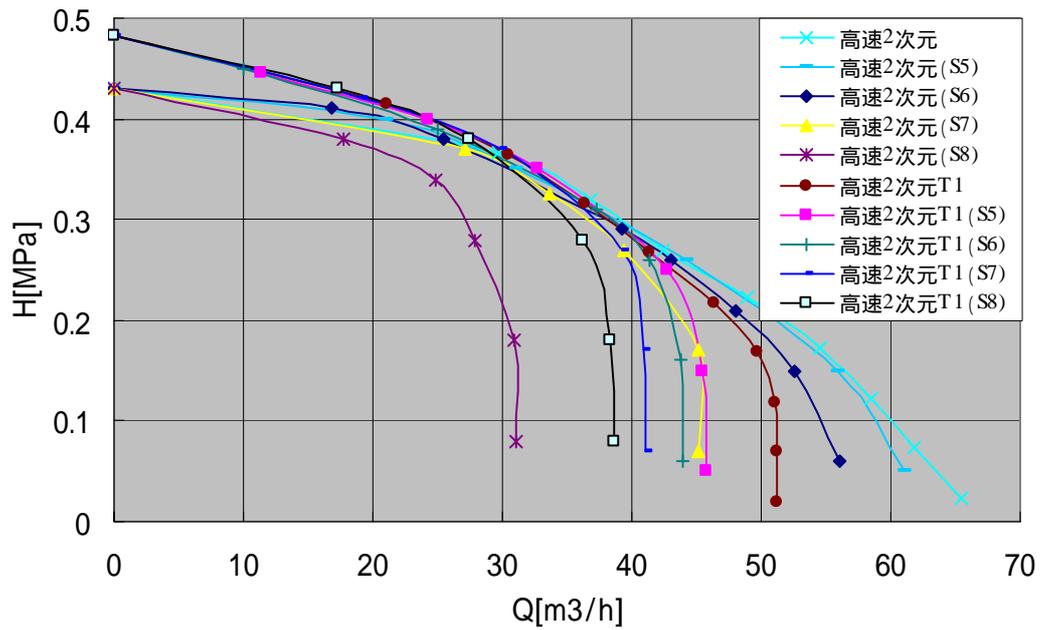


図 5.4.3.1.1 高速 2 次元羽根車 + TYPE1 組み合わせ性能試験 (流量特性)

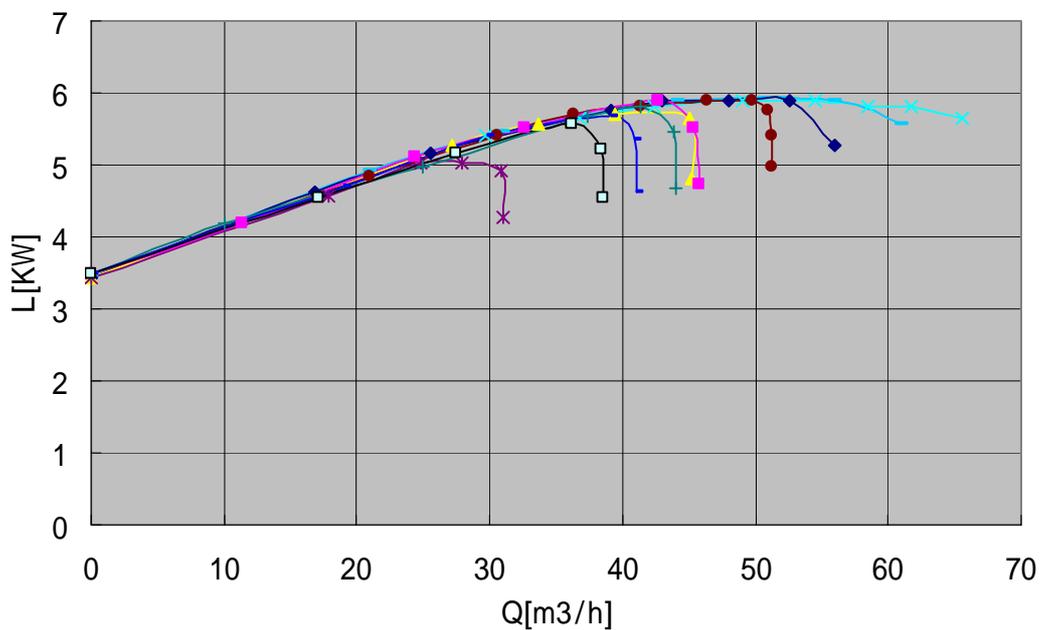


図 5.4.3.1.2 高速 2 次元羽根車 + TYPE1 組み合わせ性能試験 (軸動力)

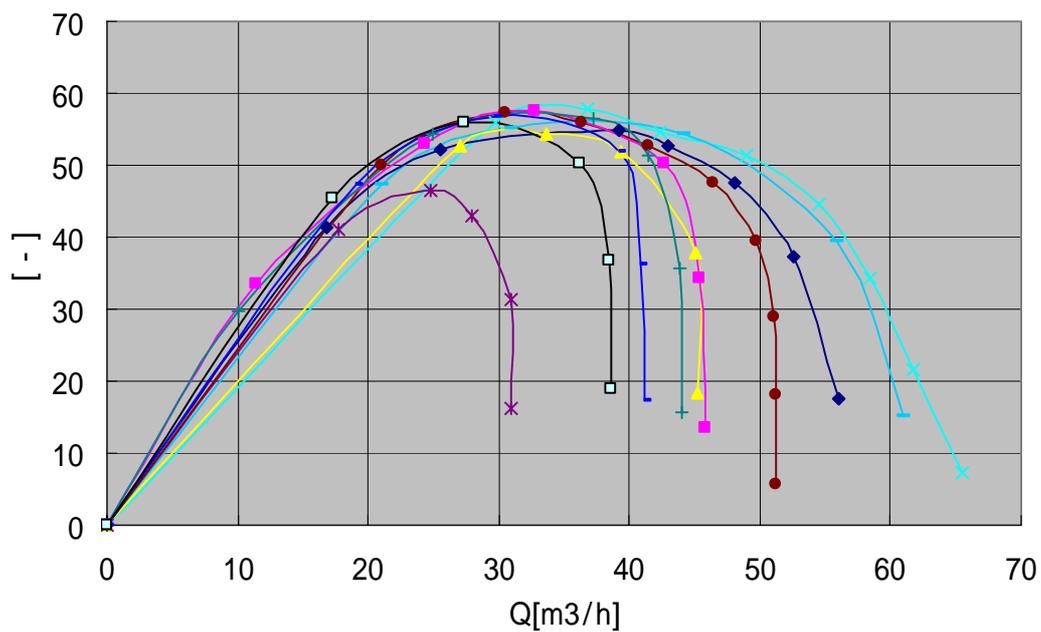


図 5.4.3.1.3 高速 2 次元羽根車 + TYPE1 組み合わせ性能試験 (軸効率)

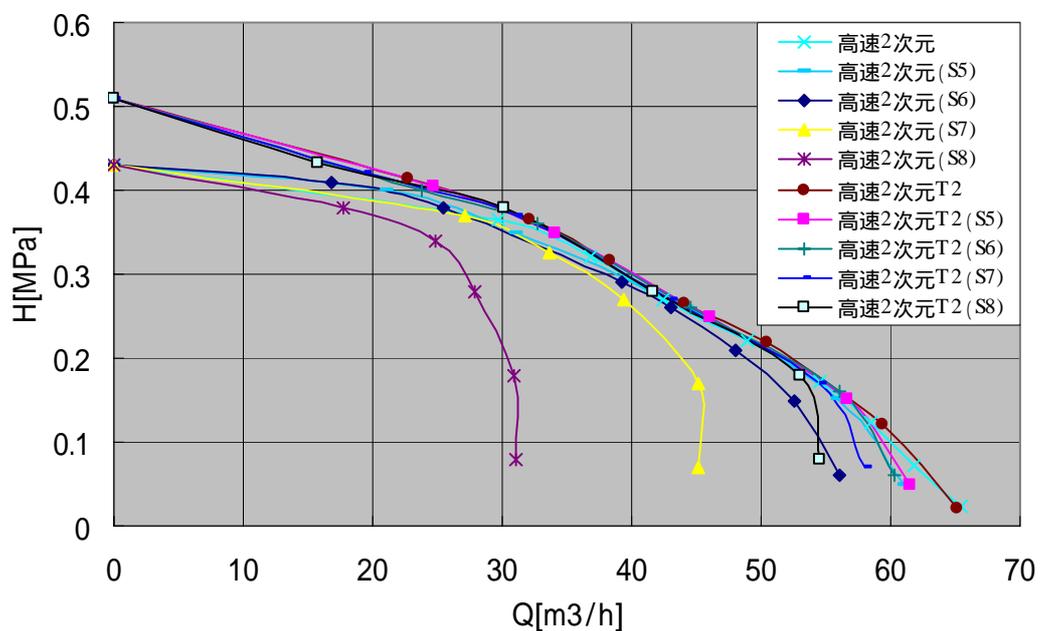


図 5.4.3.1.4 高速 2 次元羽根車 + TYPE2 組み合わせ性能試験 (流量特性)

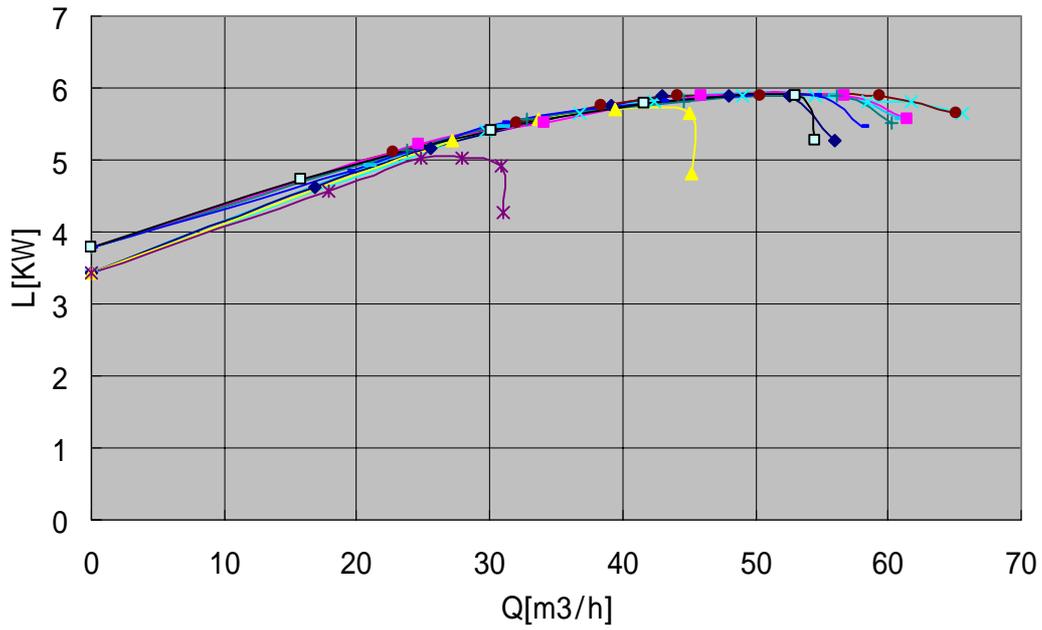


図 5.4.3.1.5 高速 2 次元羽根車 + TYPE2 組み合わせ性能試験 (軸動力)

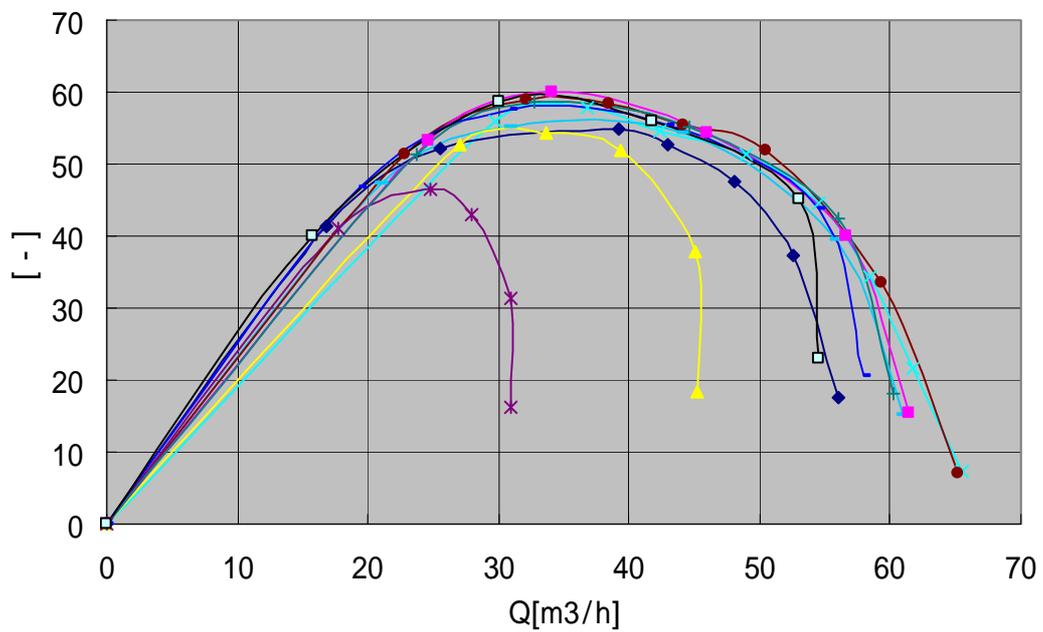


図 5.4.3.1.6 高速 2 次元羽根車 + TYPE2 組み合わせ性能試験 (軸効率)

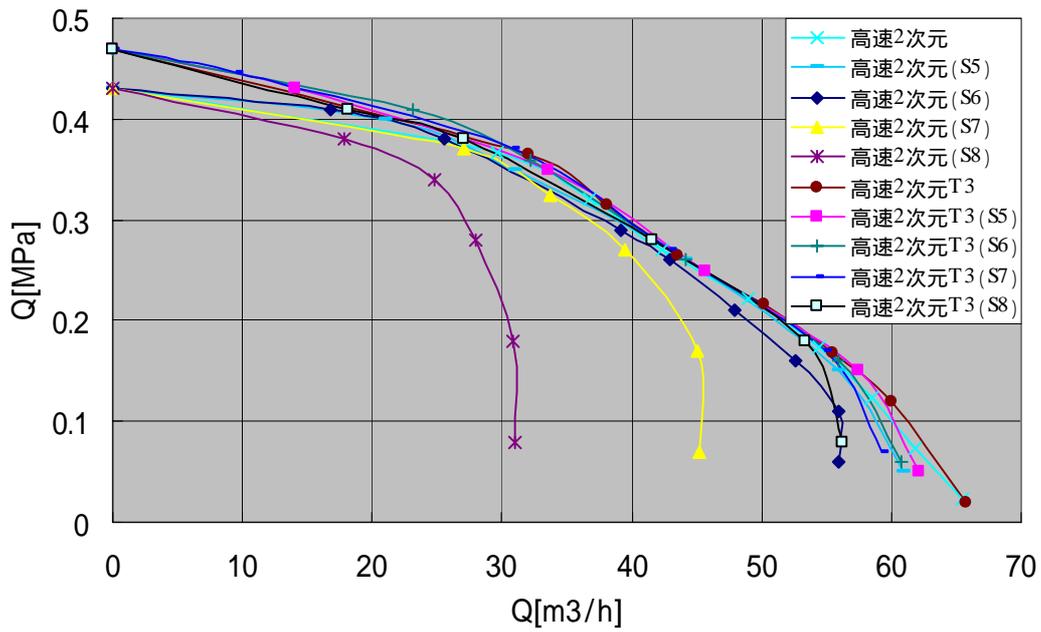


図 5.4.3.1.7 高速 2 次元羽根車 + TYPE3 組み合わせ性能試験 (流量特性)

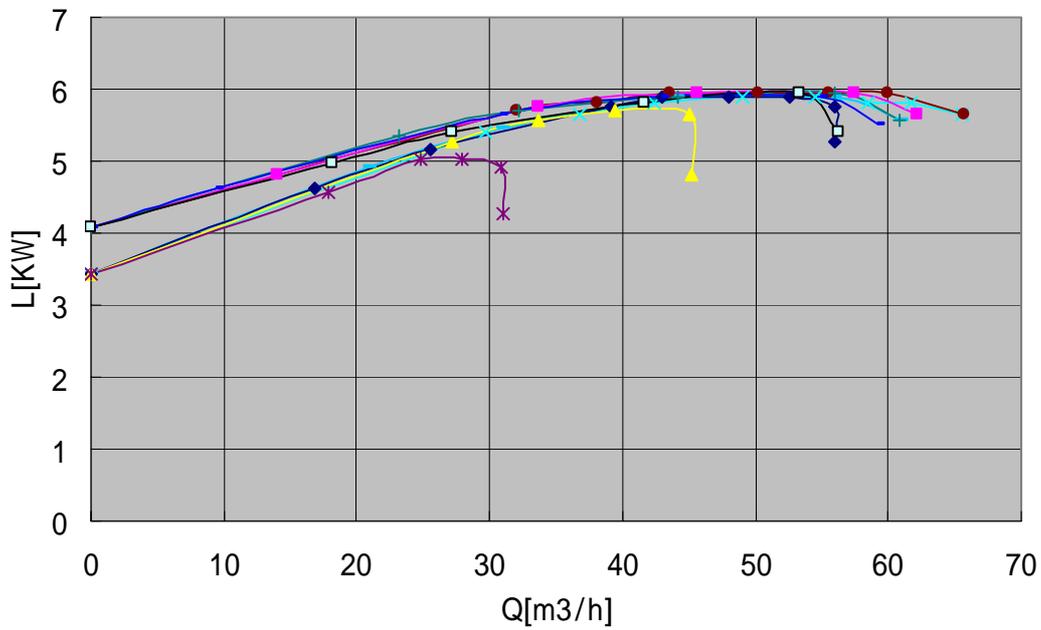


図 5.4.3.1.8 高速 2 次元羽根車 + TYPE3 組み合わせ性能試験 (軸動力)

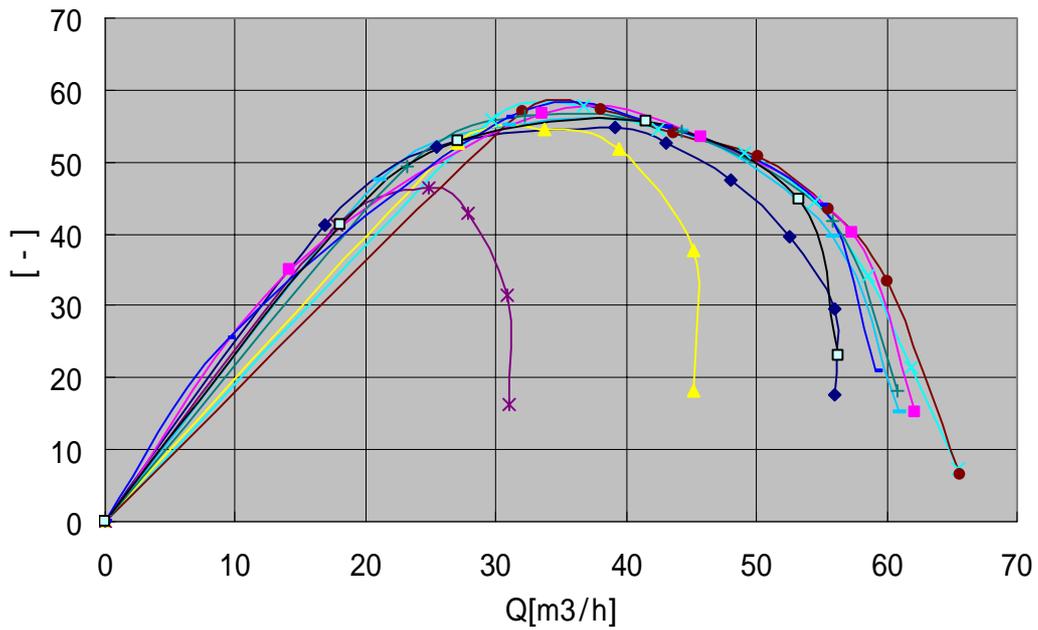


図 5.4.3.1.9 高速 2 次元羽根車 + TYPE3 組み合わせ性能試験 (軸効率)

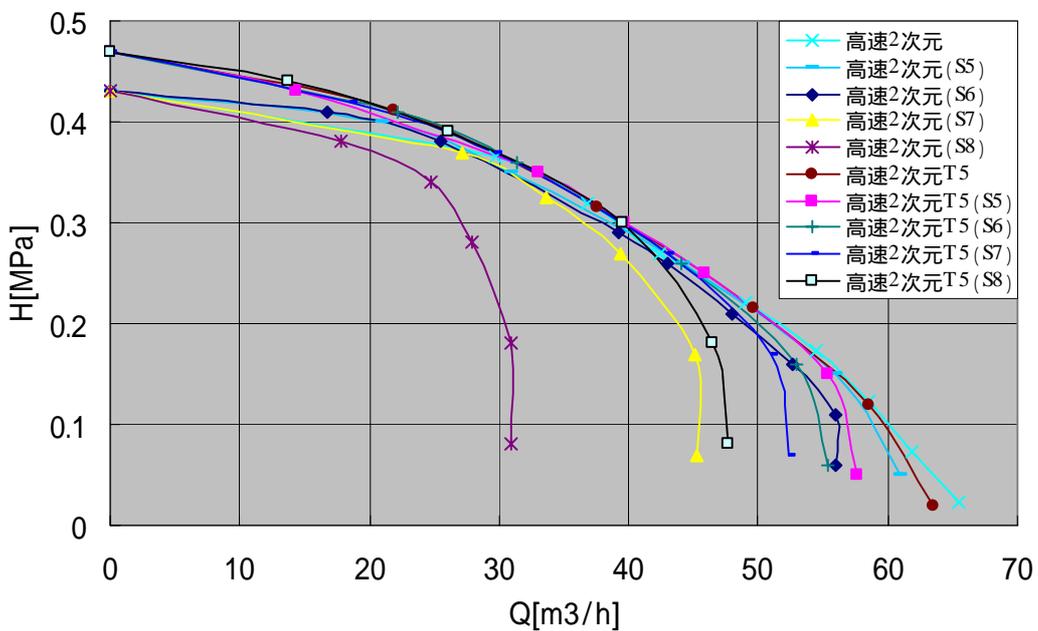


図 5.4.3.1.10 高速 2 次元羽根車 + TYPE5 組み合わせ性能試験 (流量特性)

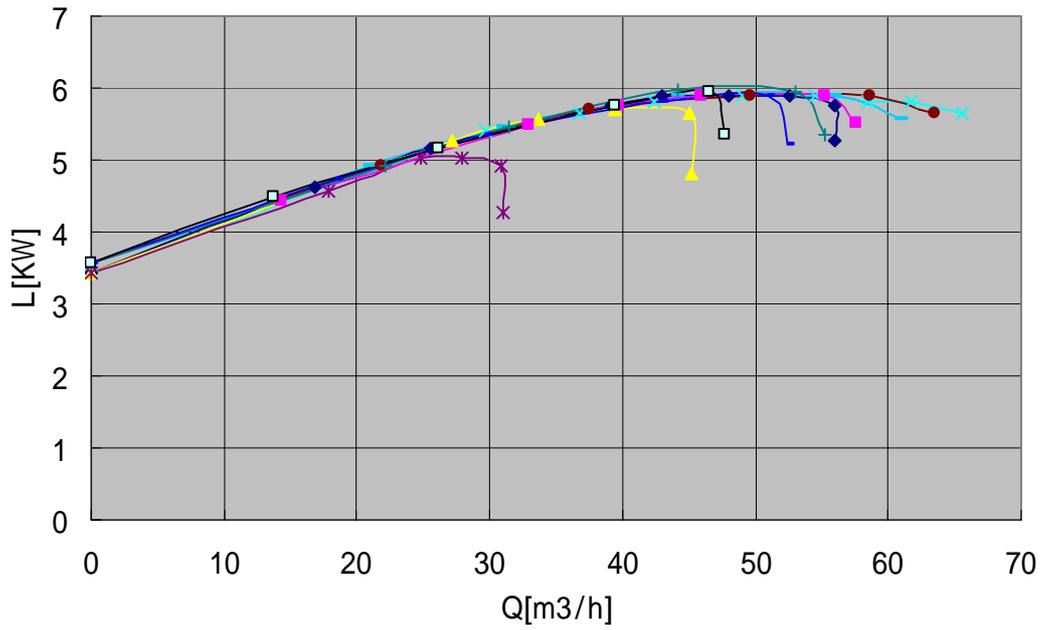


図 5.4.3.1.11 高速 2 次元羽根車 + TYPE5 組み合わせ性能試験 (軸効率)

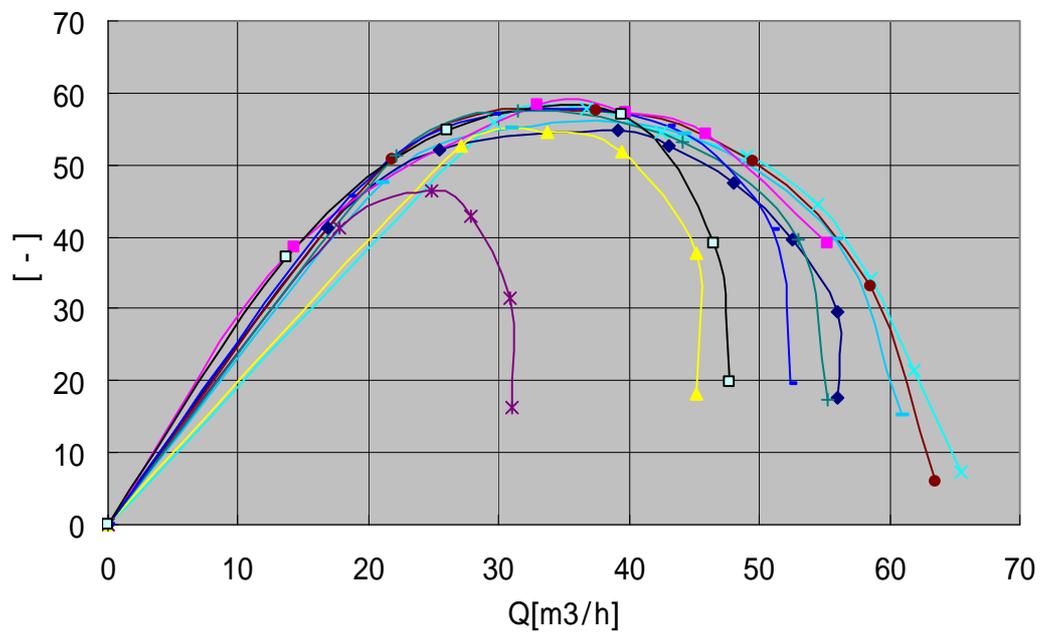


図 5.4.3.1.12 高速 2 次元羽根車 + TYPE5 組み合わせ性能試験 (軸効率)

5.4.3.2 新形状 3 次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験

図 5.4.3.2.1 から図 5.4.3.2.12 に高速新形状 3 次元羽根車および予圧羽根車 TYPE1,2,3,5 を組み合わせさせた結果を示す。

TYPE1 組み合わせ試験結果によれば、高速 2 次元羽根車の組み合わせ試験と同様に、過大流量域において急激な揚程急落が確認された。組み合わせ時における通常運転においても $Q=55\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚程急落を示しており、新形状 3 次元羽根車との組み合わせにおいても望ましい結果は得られなかった。軸動力については組み合わせによる大きな軸動力の増加には至らず、また軸効率においては単独試験結果を上回ることなく同様の傾向が確認できる。新形状 3 次元羽根車は 2 次元羽根車との単独試験比較結果からも明らかのように吸込性能については有利であるものの、TYPE1 はその有利な吸込性能を逆に劣化させていることが分かった。

TYPE2 組み合わせ試験結果によれば、締め切り圧力が若干上昇しており高流量域へ増大する。また全域にわたり揚程も若干上昇していることがわかる。過大領域において揚程急落の傾向があるが、単独試験と比較しても揚程は全域にわたり回復していることがわかる。軸動力については単独試験とほぼ重なり合っており組み合わせによる軸動力増加は見られない。軸効率も設計仕様点付近において最高効率値が約 61%を示しており、効率が上昇していることがわかる。

TYPE3 組み合わせ試験結果によれば、TYPE2 と同様の結果を得た。締め切り圧力については 0.47MPa と若干増加しており、全域にわたって揚程が若干上昇していることが示されている。設計仕様点付近における揚程増加は約 5%に対して軸動力については単独試験とほぼ同等の結果を示している。軸効率においては最高効率点付近で約 62%の最高効率値を示しており、予圧羽根車の効果が軸効率の上昇として示されている。

TYPE5 組み合わせ試験結果によれば、設計仕様付近における揚程上昇は約 2%、軸効率についても約 2%の上昇を確認したものの、過大流量域において揚程が急落していることが示されている。高速 2 次元羽根車における組み合わせにおいても同様の結果を得た。高速回転、高速新形状 3 次元羽根車との組み合わせを想定して設計した TYPE5 は、本開発で設計した 2 次元羽根車、新形状 3 次元羽根車の組み合わせには適さなかった。

高速型ポンプによる 2 次元羽根車、新形状 3 次元羽根車の組み合わせ試験結果より、両主羽根車共に TYPE2,3 との組み合わせが吸込性能を回復させるよい傾向を示してい

ることがわかる。特に新形状 3 次元羽根車との組み合わせにおいては設計仕様点において若干の揚程増加を確認することができた。組み合わせによる軸動力の大幅な上昇もなく、軸効率についても TYPE2,3 の組み合わせについては最高効率値の上昇も確認することができた。これらの結果を考慮すれば、TYPE2,3 が本新形状 3 次元羽根車に対しては良好な結果を得たと判断できる。本年度実施した組み合わせ試験の結果より、この 2 つの予圧羽根車を基本として予圧羽根車を新設計し、同様に主羽根車との組み合わせ試験へと展開する。

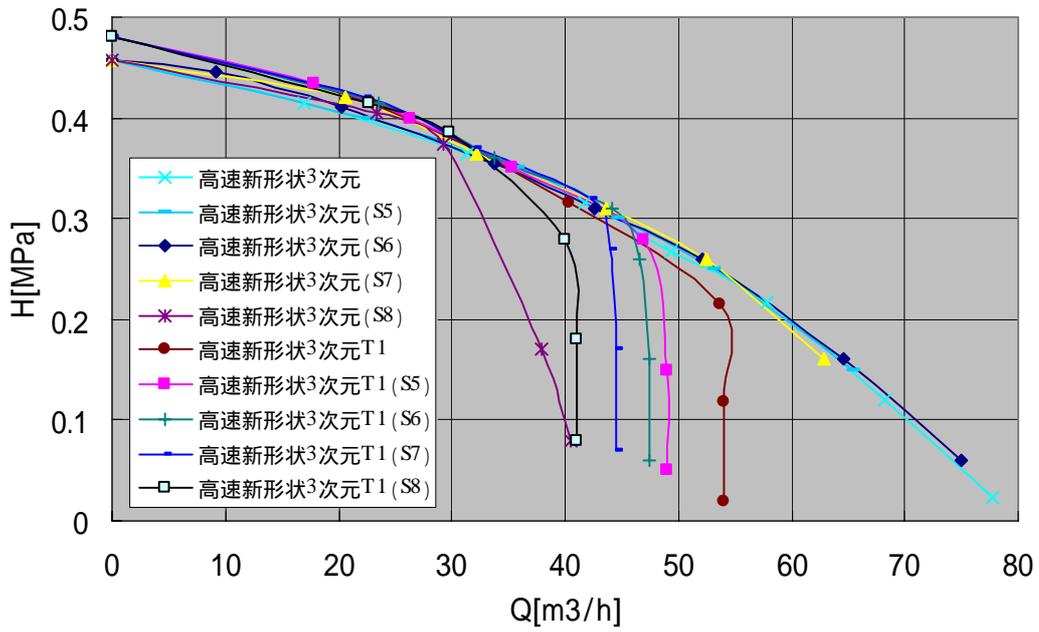


図5.4.3.2.1 高速新形状3次元羽根車 + TYPE1 組み合わせ性能試験(流量特性)

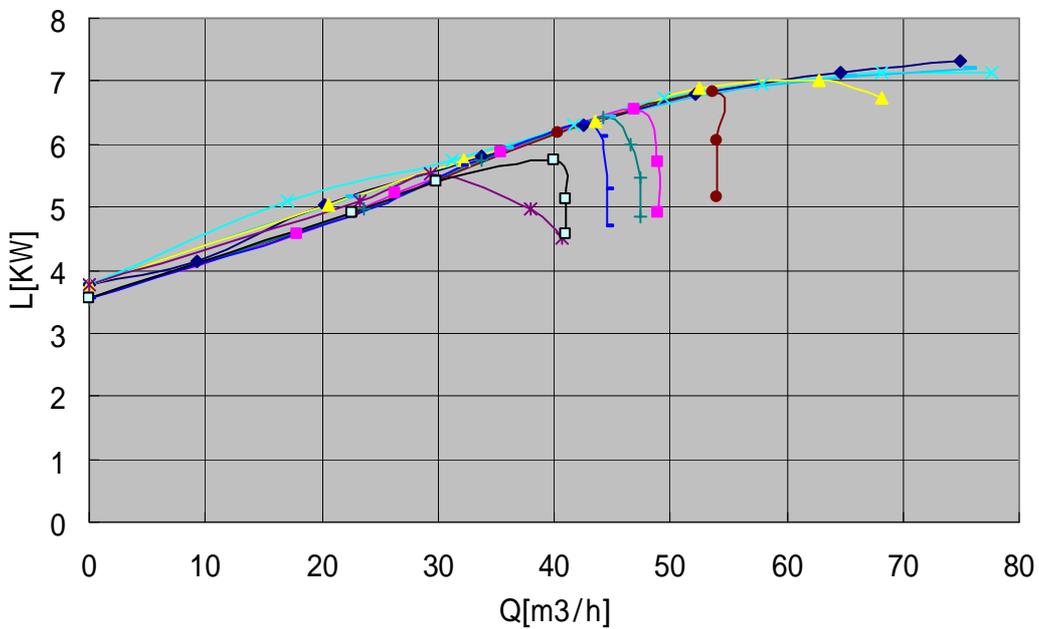


図5.4.3.2.2 高速新形状3次元羽根車 + TYPE1 組み合わせ性能試験(軸動力)

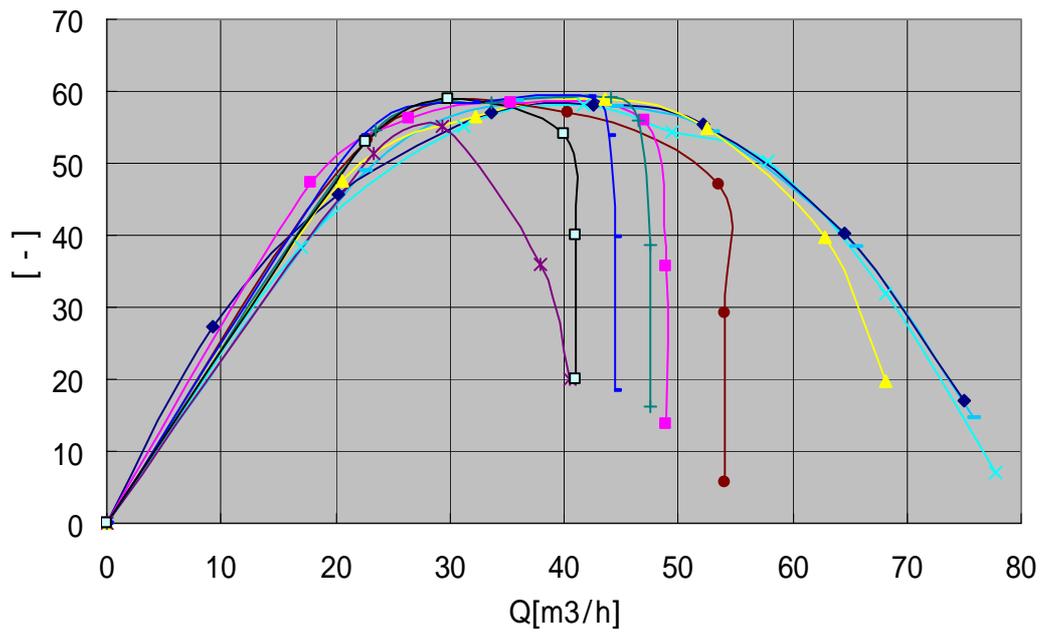


図 5.4.3.2.3 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE1 組み合わせ性能試験 (軸効率)

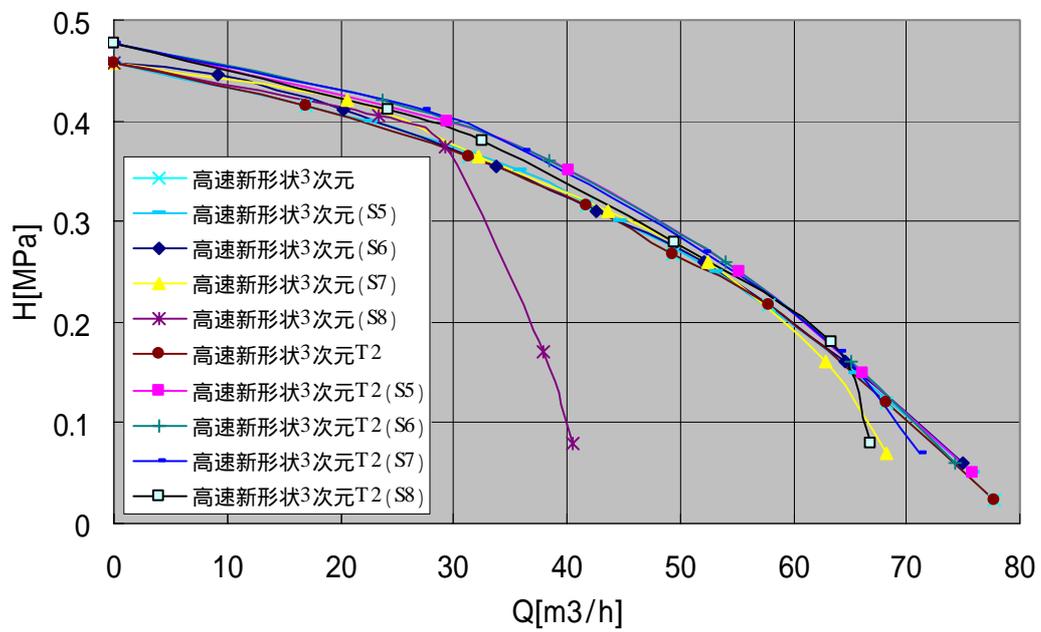


図 5.4.3.2.4 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE2 組み合わせ性能試験 (流量特性)

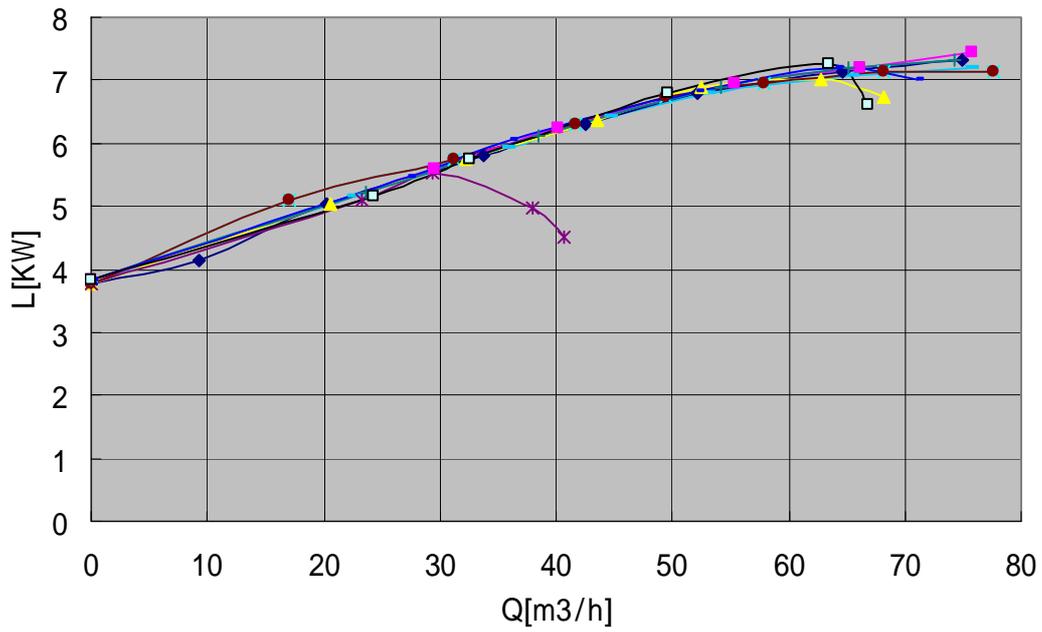


図 5.4.3.2.5 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE2 組み合わせ性能試験 (軸動力)

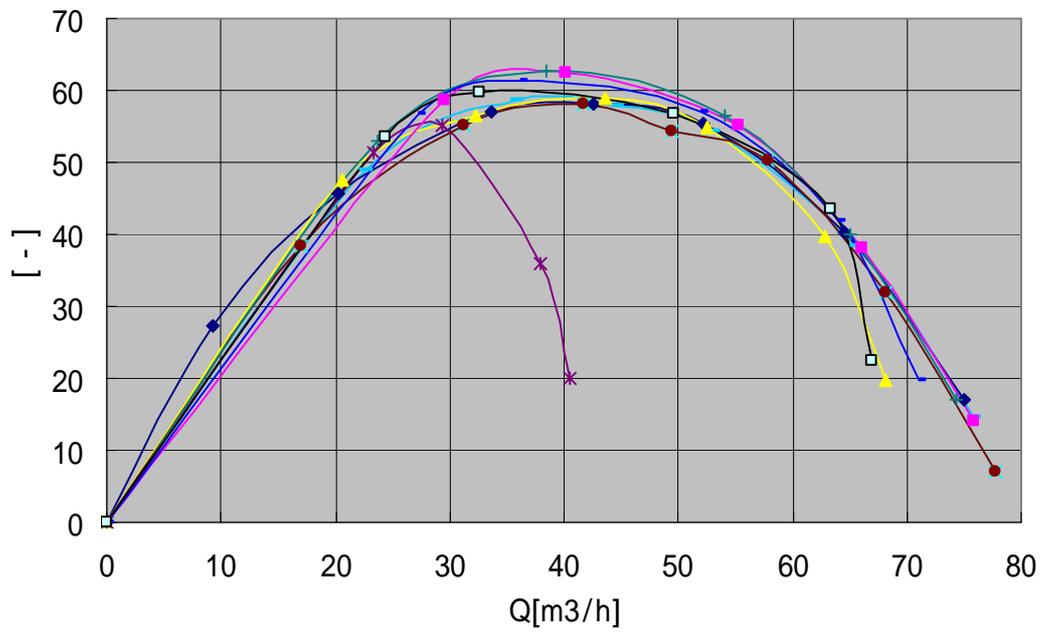


図 5.4.3.2.6 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE2 組み合わせ性能試験 (軸効率)

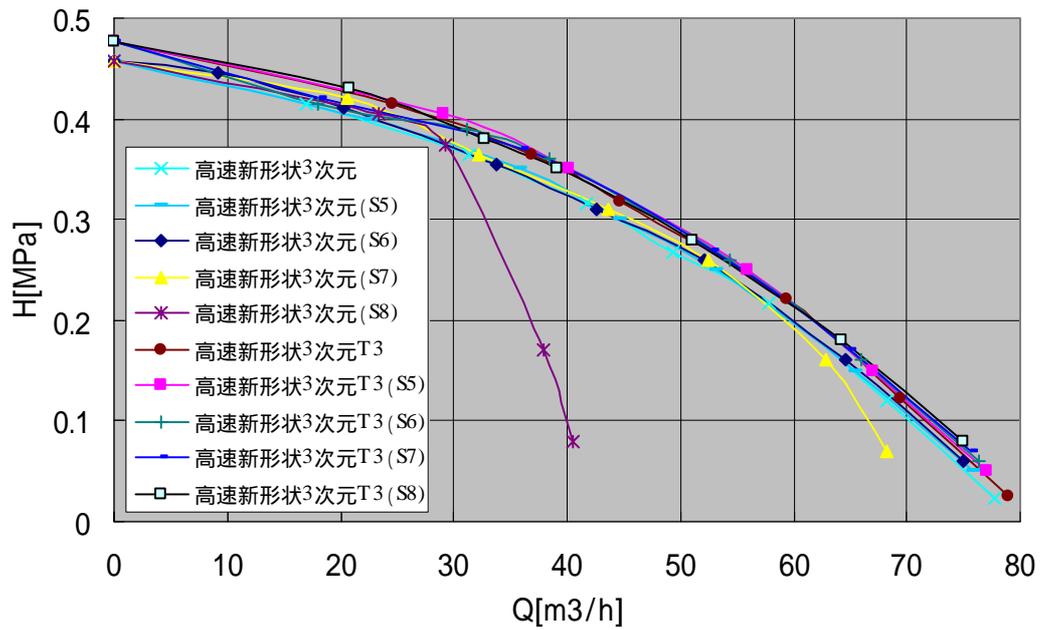


図 5.4.3.2.7 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE3 組み合わせ性能試験(流量特性)

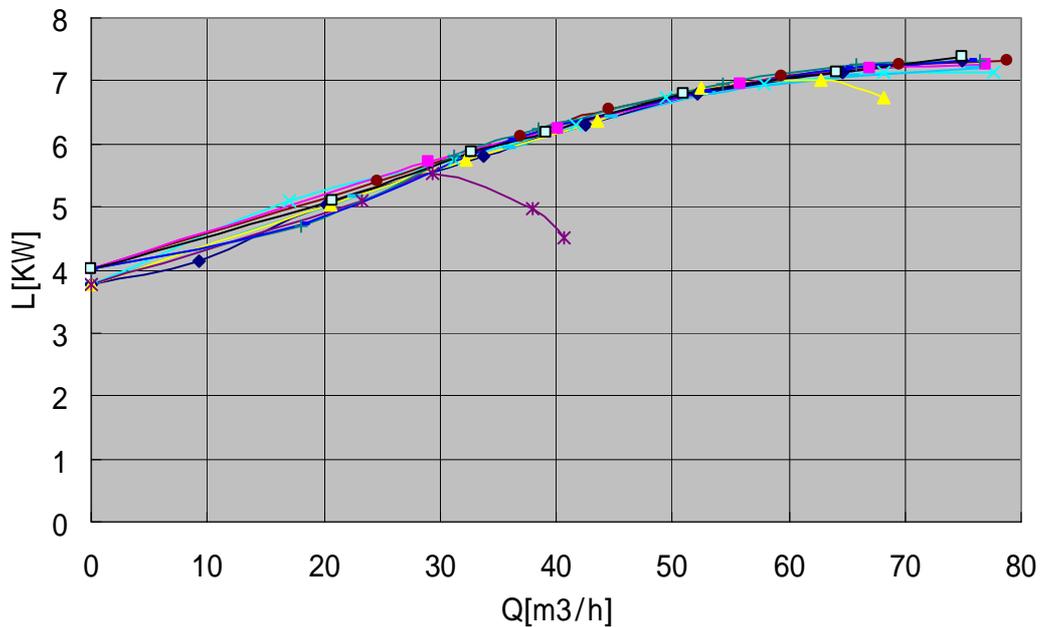


図 5.4.3.2.8 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE3 組み合わせ性能試験(軸効率)

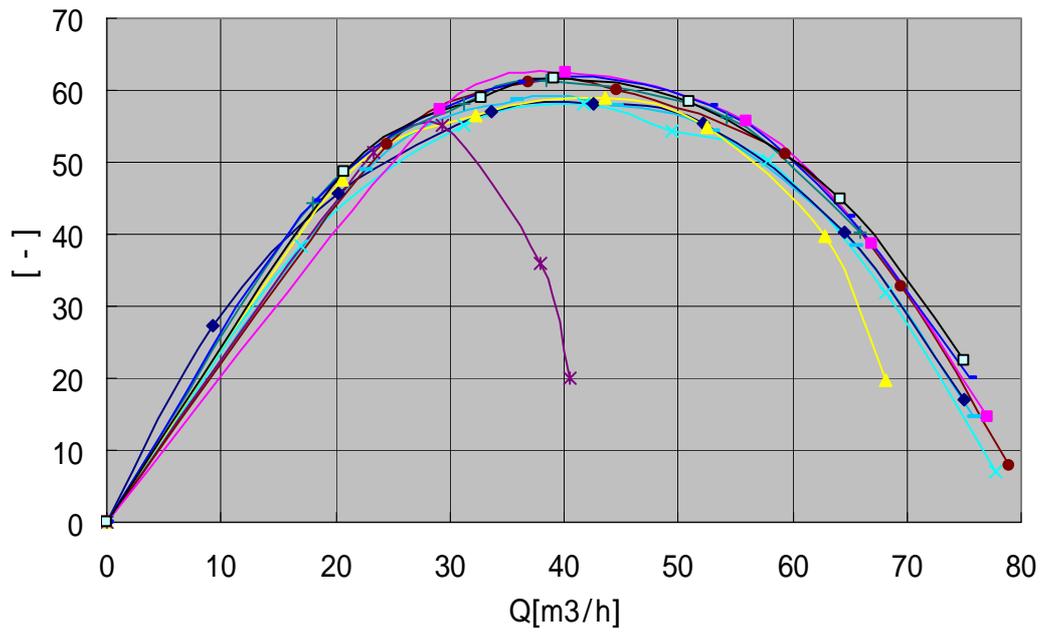


図 5.4.3.2.9 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE3 組み合わせ性能試験 (軸効率)

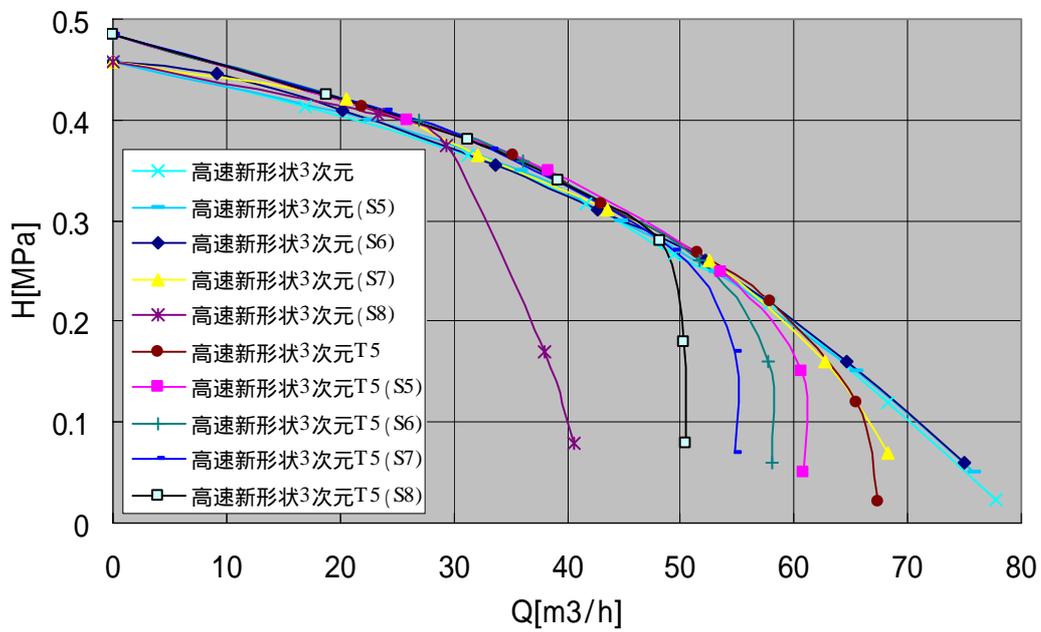


図 5.4.3.2.10 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE5 組み合わせ性能試験 (流量特性)

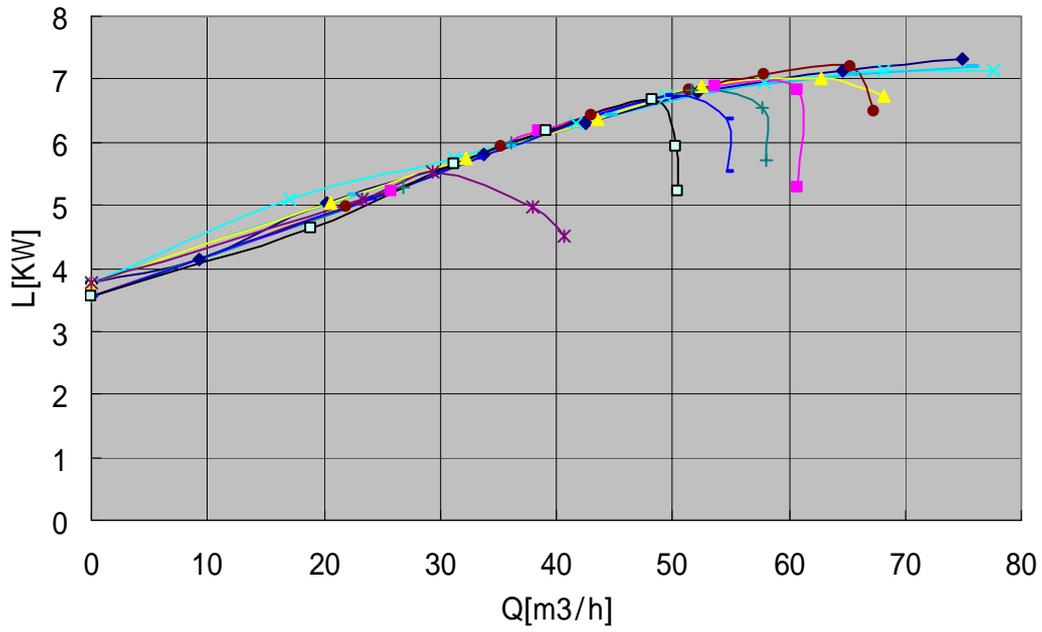


図 5.4.3.2.11 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE5 組み合わせ性能試験(軸動力)

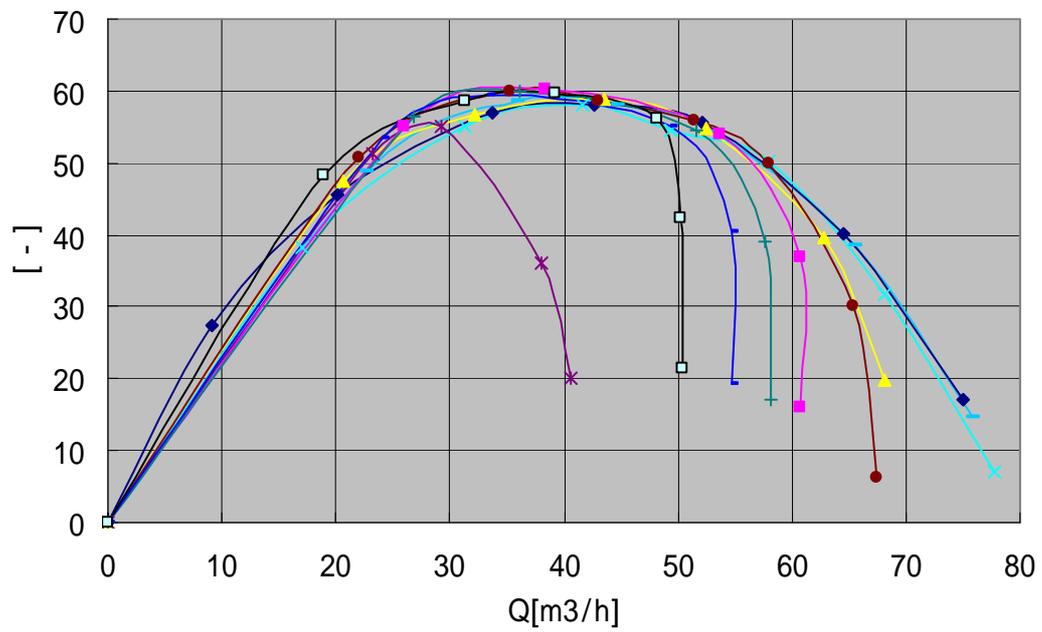


図 5.4.3.2.12 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE5 組み合わせ性能試験(軸効率)

5.4.4 平成 18 年度開発研究の成果および課題

5.4.4.1 成果

低速型および高速型ポンプに採用された低速・高速 2 次元羽根車および新形状 3 次元羽根車の性能特性、予圧羽根車単独性能特性を実験的に調査した。さらに 5.4.2 で示したように、高速回転による試験に着目して高速 2 次元羽根車および高速新形状 3 次元羽根車と予圧羽根車の組み合わせ試験を実施した結果、以下のような知見を得た。

1. 高速・低速新形状 3 次元羽根車の吸込み性能は 2 次元羽根車の性能と比較すれば、過大流量域において吸込性能の改善を確認することができたため、本羽根車の採用は吸込性能劣化を改善する手段として有効である。
2. 低速・高速新形状羽根車共に開発目標に挙げている設計仕様を満足している結果を得た。また、高速新形状 3 次元羽根車については軸動力が増す傾向にあるが、軸効率については若干の効率上昇を得た。
3. ヘリカル形予圧羽根車 TYPE1,2,3、および低速回転、高速回転に合わせて製作した 3 次元予圧羽根車の TYPE4,5 について性能試験を実施した。本年度製作した 5 つの予圧羽根車においてはヘリカル型 TYPE2,3 が高速回転において流量、揚程共に増大することを確認した。
4. 本予圧羽根車 TYPE2,3 との組み合わせが吸込性能改善に大して良好な傾向を得た。
5. 新形状 3 次元羽根車との組み合わせ試験においては設計仕様点において若干の揚程増加を確認した。
6. 本予圧羽根車との組み合わせにおいて大幅な軸動力の上昇もなく、軸効率についても TYPE2,3 においては若干の最高効率値上昇を確認した。

5.4.4.2 来年度開発課題

前節で示したように TYPE2,3 と新形状 3 次元羽根車が吸込性能改善に有効であることを示した。来年度も継続して高速型ポンプによる 2 次元羽根車および新形状 3 次元羽根車と予圧羽根車の組み合わせ試験を実施する。来年度事業の開発要目は以下のとおりである。

1. 事業の目標として挙げたポンプケーシング径の 60%のコンパクト化を達成し、開発目標値（表 3.3 参照）を満たす高速型ポンプを開発する。
2. 予圧羽根車 TYPE2,3 をベースとして新たに予圧羽根車を新作する。新作された予圧羽根車は本年度と同様に高速型ポンプにより組み合わせ試験され、吸込性能を確認するものとする。
3. 吸込性能試験より最良の組み合わせを調査し、温水試験設備による仕様温度 60 における組み合わせ性能試験を実施する。

6 事業の成果 2(平成 19 年度実施)

6.1 高速型ポンプの改良設計・製作

図 6.1.1 に改良高速型ポンプ外径図、写真 6.1.1 は改良高速型ポンプ写真を示す。これは吸込部の上流区間を可視化するものであり、可視化部分を 100mm から 400mm に延長したものである。可視化部分は前年度と同様にアクリル製のパイプを加工したものであり、管内径は主羽根車の吸込目玉径を考慮して 91mm、予圧羽根車との隙間は片側 0.5mm とした。



写真 6.1.1 改良高速型ポンプ全体写真

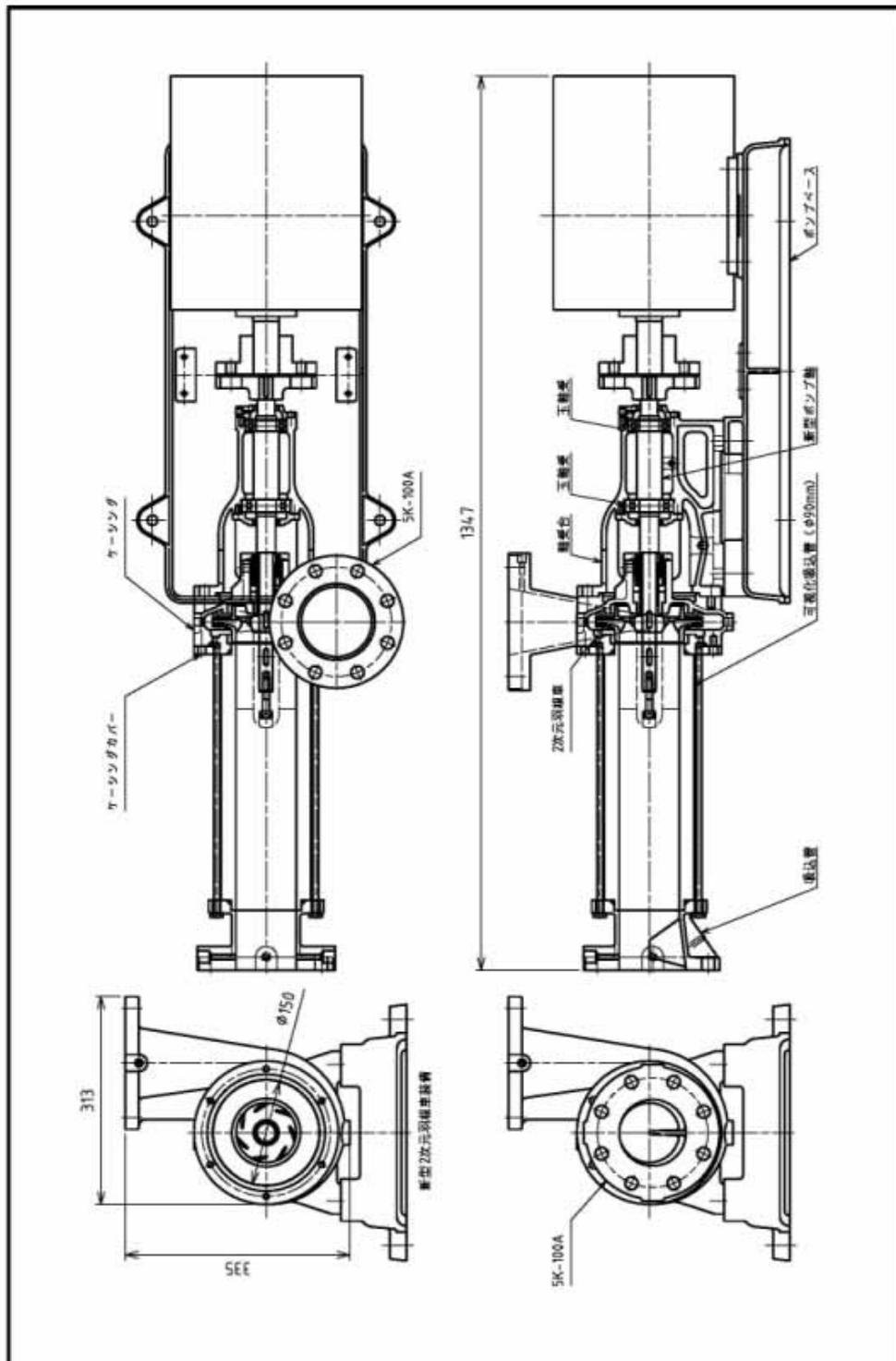


図 6.1.1 改良高速型ポンプ外形図

6.2 温水試験設備について

図 6.2.1 は本年度使用した温水試験ラインの模式図である。本試験装置は JIS B8304 に基づいており、船内における復水ポンプの運転状況を忠実に再現したものである。JIS B8304 に規定される復水ポンプ試験要領は、復水器中の凝結水を吸出する復水ポンプの性能を工場内での検査業務において規定しており、試験装置、試験は仕様に近い状態で実施される。

エジェクタポンプにより真空タンク内を真空状態に保ち、外壁を介して設置している温水用小型ピットから温水を注入する。タンク出口バルブから本試験ポンプに流入し、本ポンプから吐き出された温水が再び小型ピットに流れる循環構造とした。温水は屋内に設置されているボイラから発する蒸気を小型ピットに注入し、循環させながら規定温度まで温められる。規定温度に清水を温めるために検温器を用いたオンオフ制御による制御装置を設置した。ボイラから小型ピットにつながる配管経路に電動バルブを設置し、検温器からピックアップされた信号から蒸気電動バルブを制御するものである。

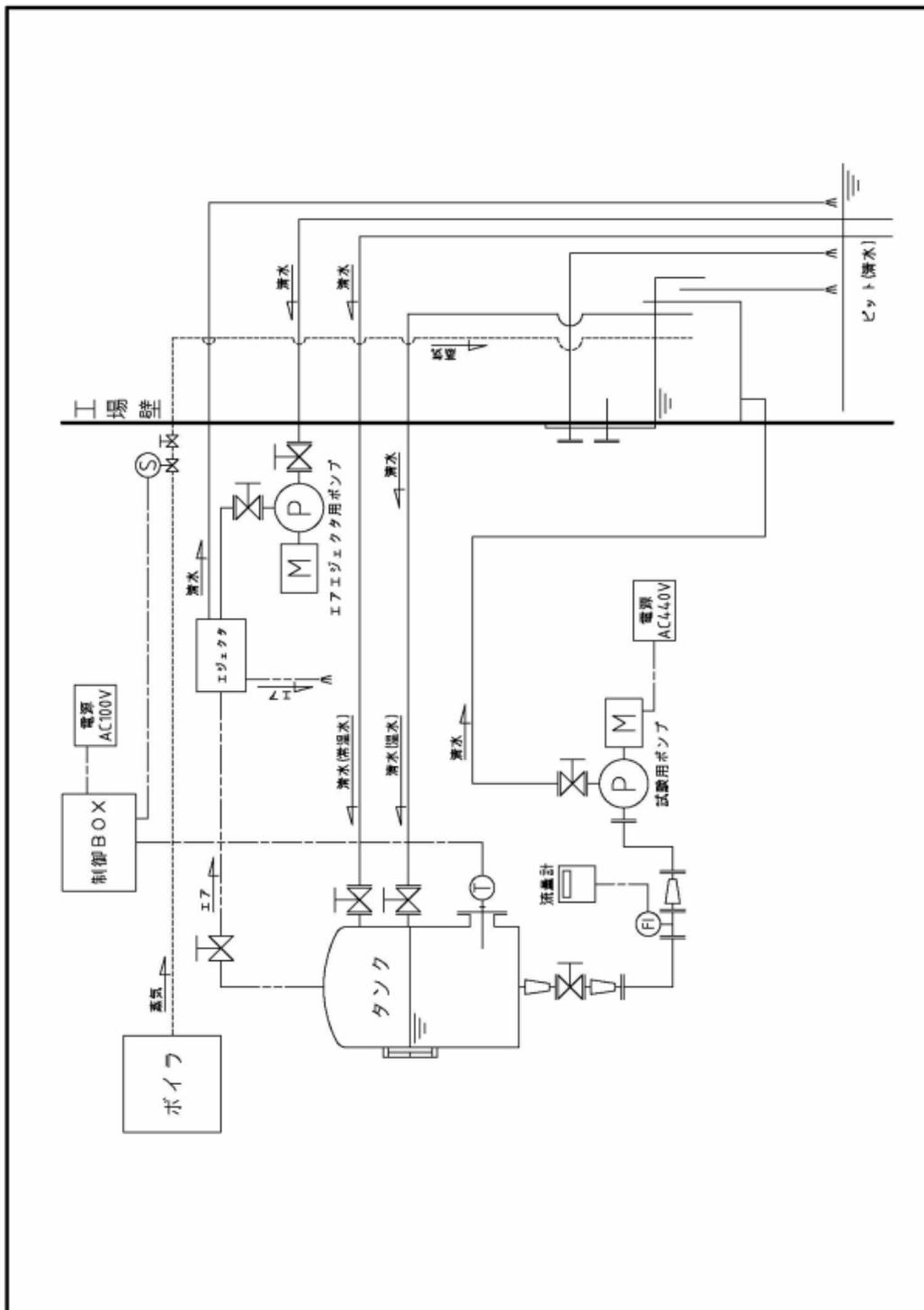


図 6.2.1 温水試験設備図

6.3 予圧羽根車の設計製作および仕様

本年度新作した予圧羽根車の仕様を表 6.3.1 に示し、表 6.3.2 に駆動状態と供試羽根車の対応表を示す。各予圧羽根車は写真 6.3.1 から 6.3.5 に示している。昨年製作した予圧羽根車と同様に 3 次元加工機による切削加工によって製作されており、いずれも真鍮製、直径 89mm の 3 枚羽根、羽根厚さを 3mm とした。実験は高速型ポンプを採用し、昨年度実施した試験と同様に、全ての予圧羽根車が高速 2 次元羽根車および新形状 3 次元羽根車に組み合わされる。

要目		TYPE2	TYPE3	TYPE6	TYPE7	TYPE8	TYPE9	TYPE10
直径	mm	89	89	89	89	89	89	89
羽根先端隙間	mm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
羽根枚数	-	3	3	3	3	3	3	3
羽根入口角度	deg	15	20	20	20	25	25	25
羽根出口角度	deg	15	20	20	20	25	25	25
軸方向長さ(羽根先端)	mm	70.7	70.7	50	100	70.7	50	100
弦節比	-	2.93	2.21	1.568	3.137	1.797	1.269	2.539

表 6.3.1 予圧羽根車仕様一覧

ポンプ名称	回転数(min^{-1})		供試羽根車		名称
予圧羽根車試験装置	高速回転	3600	TYPE2	ヘリカル	T2
			TYPE3	ヘリカル	T3
			TYPE6	ヘリカル	T6
			TYPE7	ヘリカル	T7
			TYPE8	ヘリカル	T8
			TYPE9	ヘリカル	T9
			TYPE10	ヘリカル	T10

表 6.3.2 予圧羽根車名称対応表



写真 6.3.1 予圧羽根車 TYPE6



写真 6.3.2 予圧羽根車 TYPE7



写真 6.3.3 予圧羽根車 TYPE8



写真 6.3.4 予圧羽根車 TYPE9



写真 6.3.5 予圧羽根車 TYPE10

6.4 性能試験

6.4.1 予圧羽根車単独性能試験

図 6.4.1.1 は TYPE2、TYPE3 および新作した予圧羽根車 TYPE6～10 の単独運転試験の結果である。流量特性において、締め切り圧力は全ての予圧羽根車において 0.08～0.95MPa に留まっており、また右下がりの傾向にあることが分かる。TYPE2,3 が示す最大流量値はそれぞれ約 50m³/h、66m³/h である。一方で TYPE8,9,10 の最大流量値については他の結果とは異なり約 90m³/h まで増大することが分かる。これは予圧羽根車設計仕様で示している羽根先端迎え角で整理すれば、TYPE8,9,10 は 25 度、TYPE3,6,7 は 20 度、TYPE2 は 15 度として区別することができる。TYPE10 においては他の結果と比べると若干揚程が増加しているが、後の結果と同様の分布となっていることがわかる。

図 6.4.1.2 に示す軸動力については、その分布を概ね TYPE8,9,10、TYPE3,6,7、TYPE2 として区別すれば、上記のように迎え角で区別した流量特性の傾向と一致するものであり、迎え角が大きくなると軸動力が増加すると考えられる。

図 6.4.1.3 に示す軸効率についても上記のような傾向が見られる。TYPE8,9,10 の軸動力が増加していることに対応して軸効率の分布は他の予圧羽根車の軸効率分布と比較して下回る傾向を得た。全域における分布としては、右上がりのまま最大流量まで伸びている。TYPE3,6,7 は約 55m³/h 付近でなだらかにピークを取る傾向にある。TYPE2 については約 40m³/h 付近において効率が減少する結果を得た。またいずれのパターンにおいても軸動力が 20%を上回ることはなく、2 次元羽根車、新形状 3 次元羽根車の単独性能と比較すれば低い水準にあるといえる。

本予圧羽根車の特性としては、羽根先端迎え角が大きくなれば最大流量値は伸びる一方で軸動力は増大し、効率が減少する傾向を得た。組み合わせにより流量特性、効率がどのように変化するか、吸込性能の向上に対して効果的であるかどうかを次節から検証する。

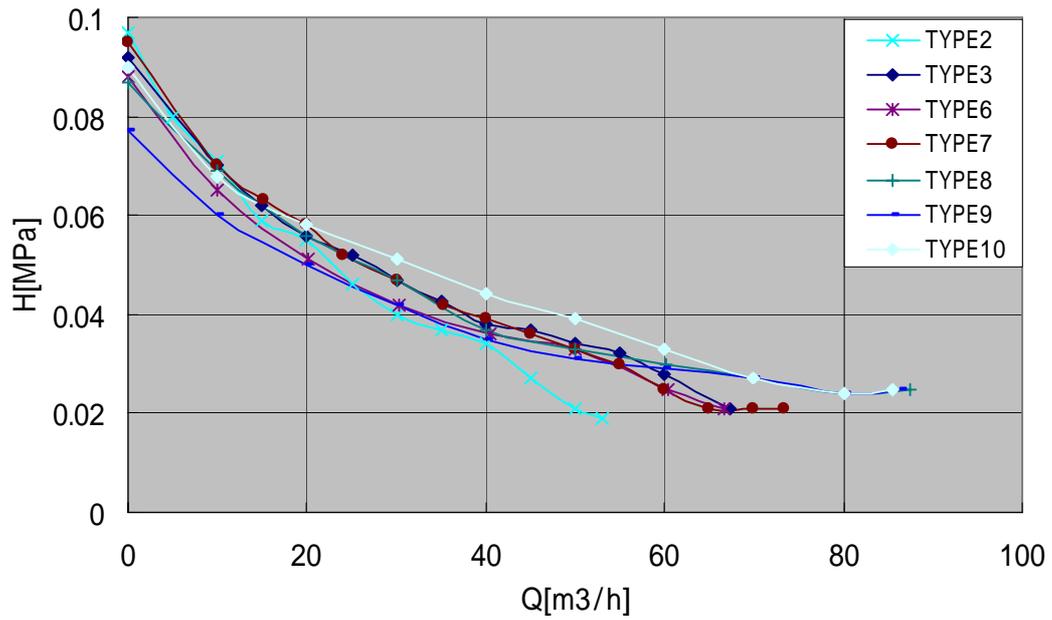


図 6.4.1.1 予圧羽根車性能試験（流量特性）

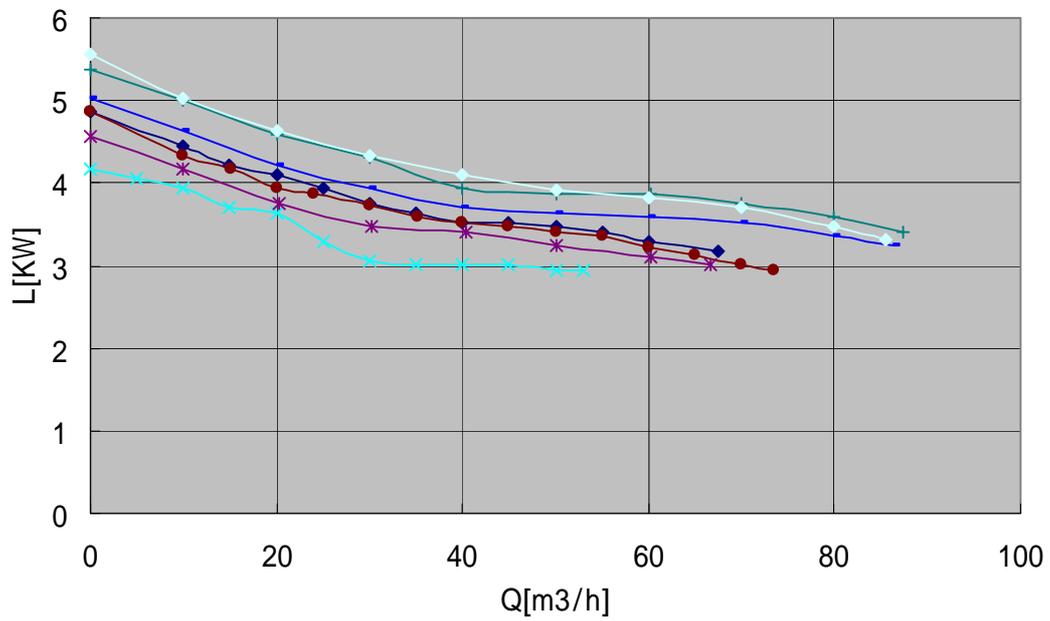


図 6.4.1.2 予圧羽根車性能試験（軸動力）

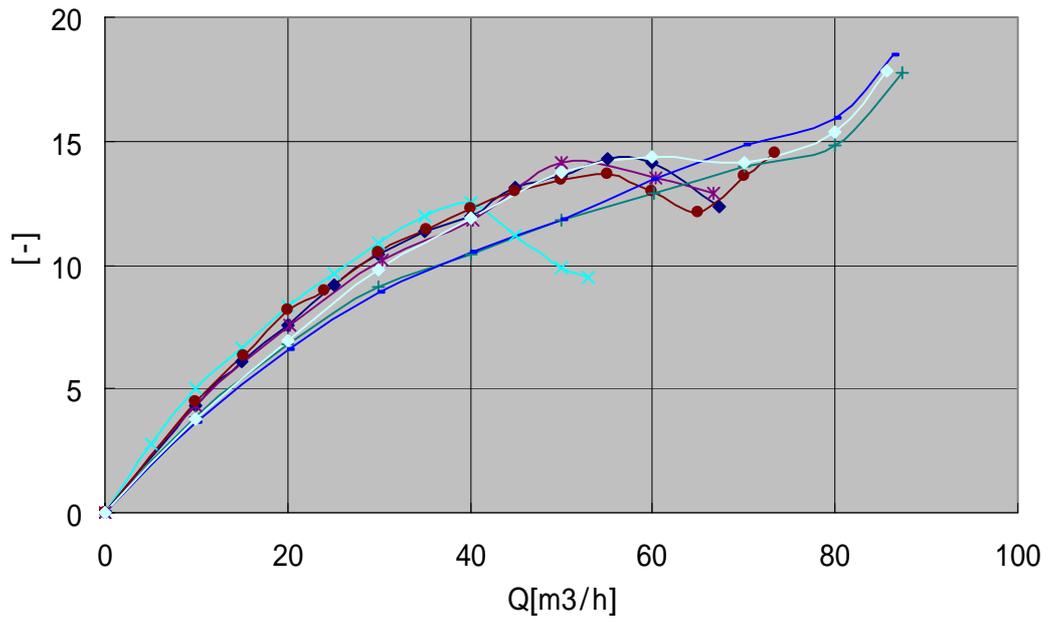


图 6.4.1.3 予压羽根車性能試験 (軸効率)

6.4.2 高速型ポンプにおける組み合わせ試験

6.4.2.1 高速2次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験

図 6.4.2.1.1～図 6.4.2.1.15 に 2 次元羽根車および 19 年度試験した予圧羽根車 TYPE6,7,8,9,10 を組み合わせさせた各諸特性を示す。

流量特性については全ての結果において予圧羽根車を組み合わせると、単独運転時と比較すれば過大流量域において揚程の急低下が回復している傾向にあるが、以前として急低下の挙動が確認できる。一方で全域において揚程が平均で 4%ほど上昇しており本年度新作した予圧羽根車が効果的に機能したと考えられる。軸動力については設計流量より締め切り時に軸動力が上昇している傾向にあるが、それ以降についてはほぼ重なり合う傾向があることが示されており、組み合わせによる軸動力の増加は見られなかった。軸効率においては 2 次元羽根車単体における最高効率は 55%に対して、組み合わせ試験による最高効率値は平均で約 61%まで上昇する結果を得た。

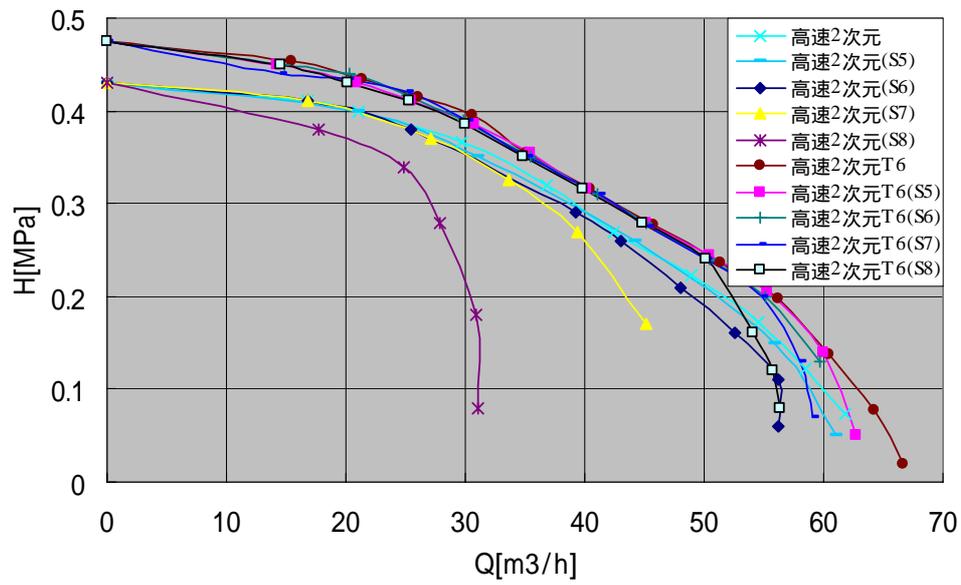


図 6.4.2.1.1 高速 2 次元羽根車 + TYPE6 組み合わせ性能試験 (流量特性)

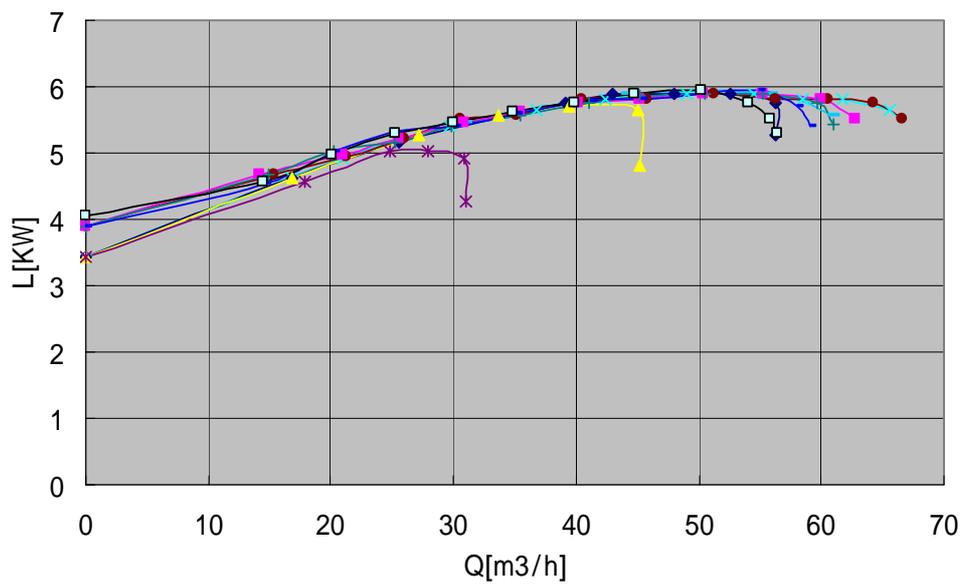


図 6.4.2.1.2 高速 2 次元羽根車 + TYPE6 組み合わせ性能試験(軸動力)

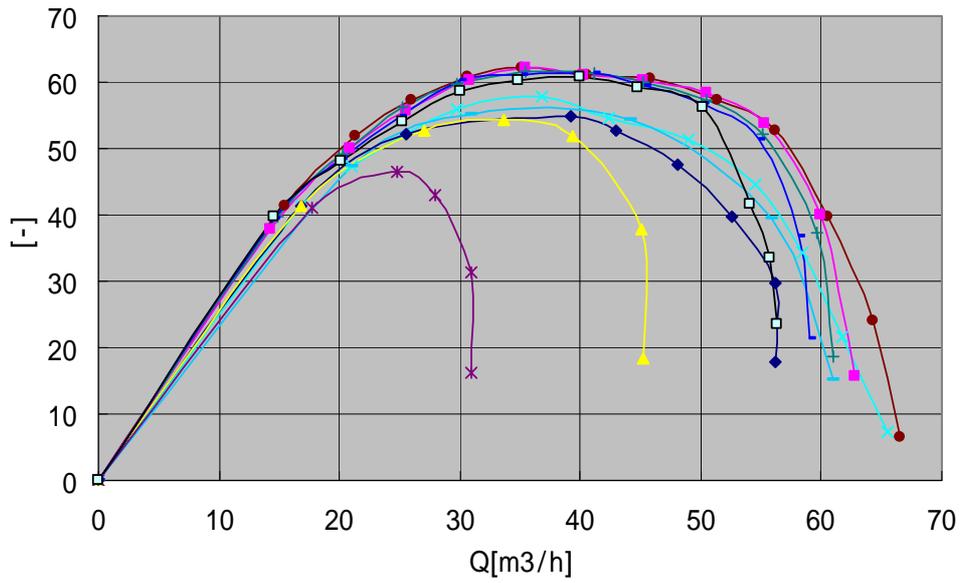


図 6.4.2.1.3 高速2次元羽根車 + TYPE6 組み合わせ性能試験(軸効率)

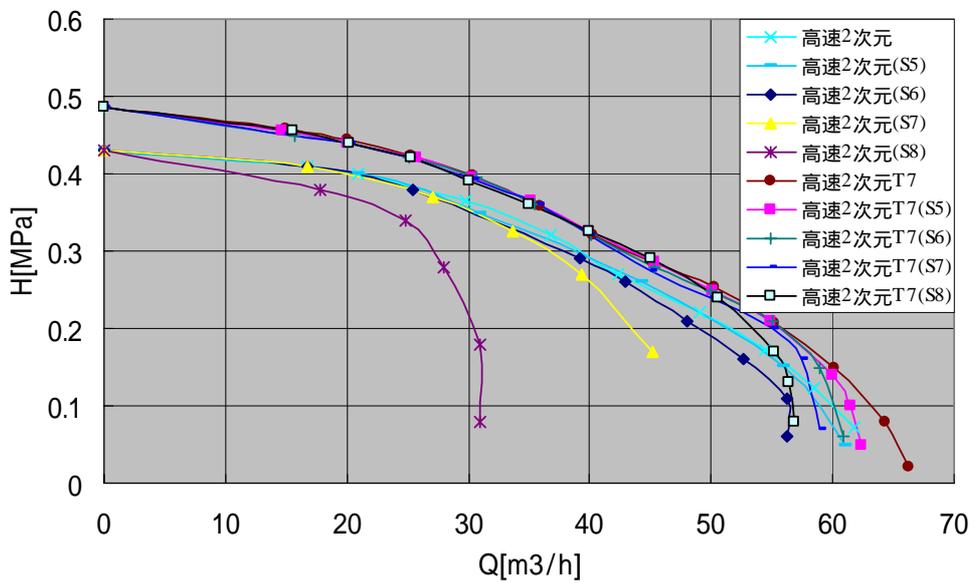


図 6.4.2.1.4 高速2次元羽根車 + TYPE7 組み合わせ性能試験(流量特性)

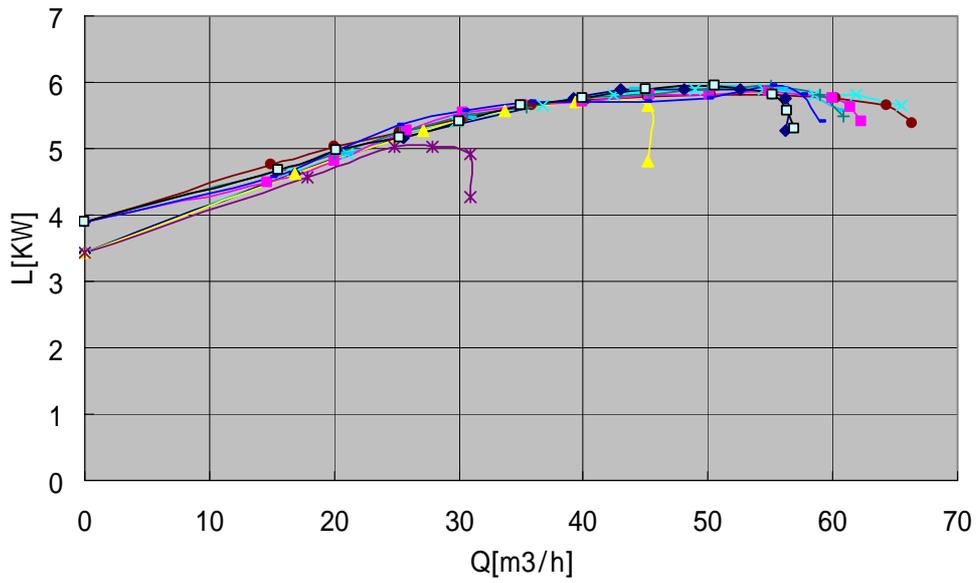


図 6.4.2.1.5 高速2次元羽根車 + TYPE7 組み合わせ性能試験(軸動力)

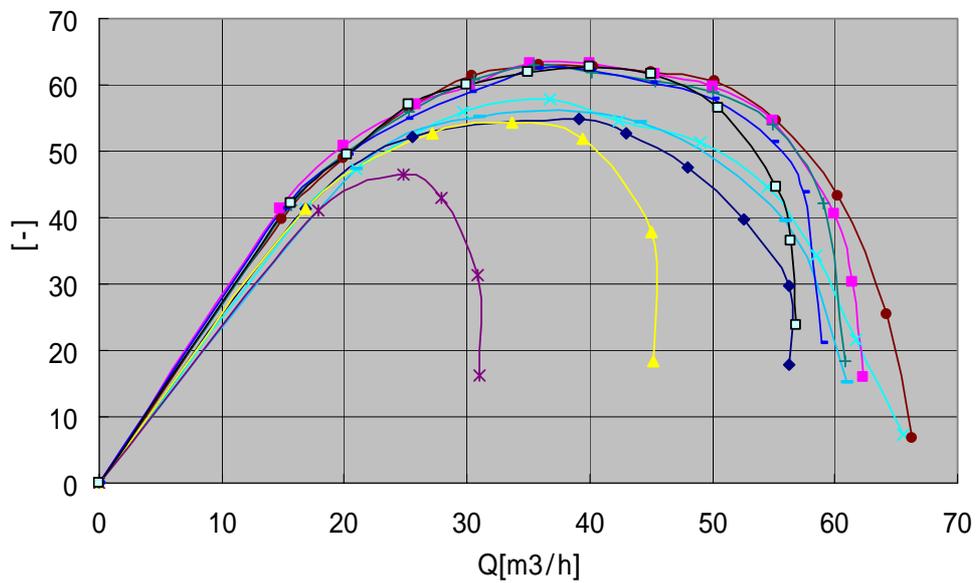


図 6.4.2.1.6 高速2次元羽根車 + TYPE7 組み合わせ性能試験(軸効率)

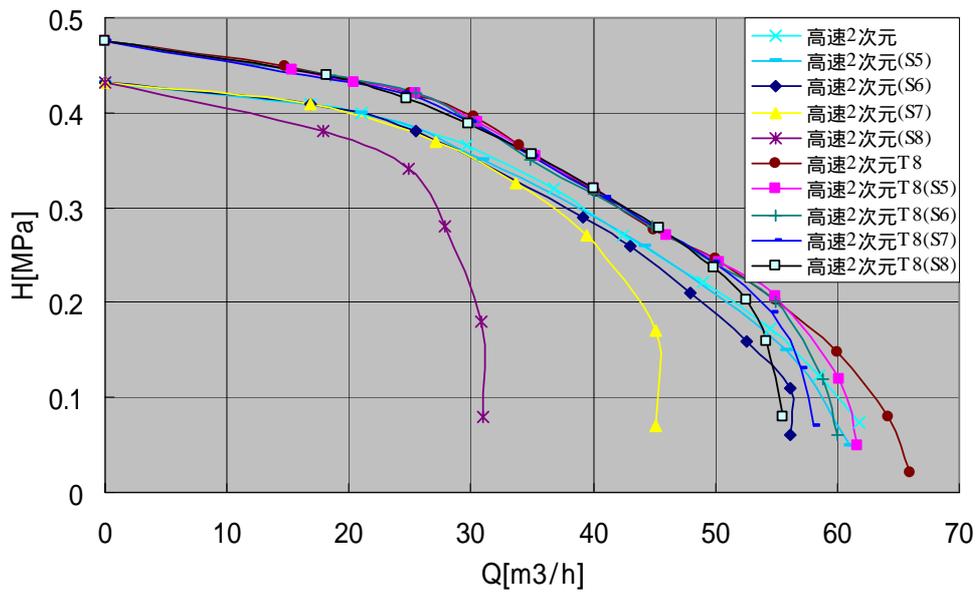


図 6.4.2.1.7 高速 2 次元羽根車 + TYPE8 組み合わせ性能試験 (流量特性)

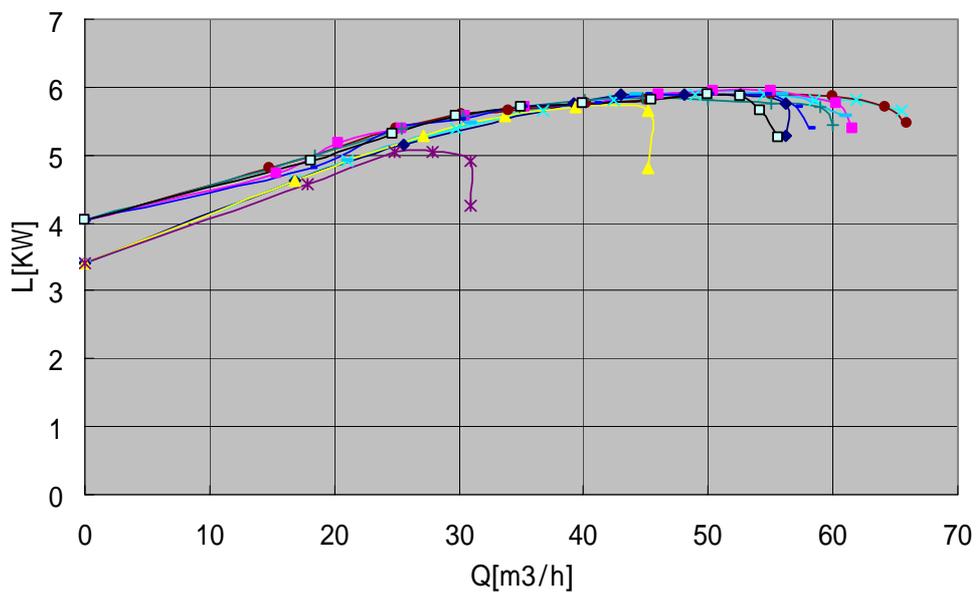


図 6.4.2.1.8 高速 2 次元羽根車 + TYPE8 組み合わせ性能試験 (軸動力)

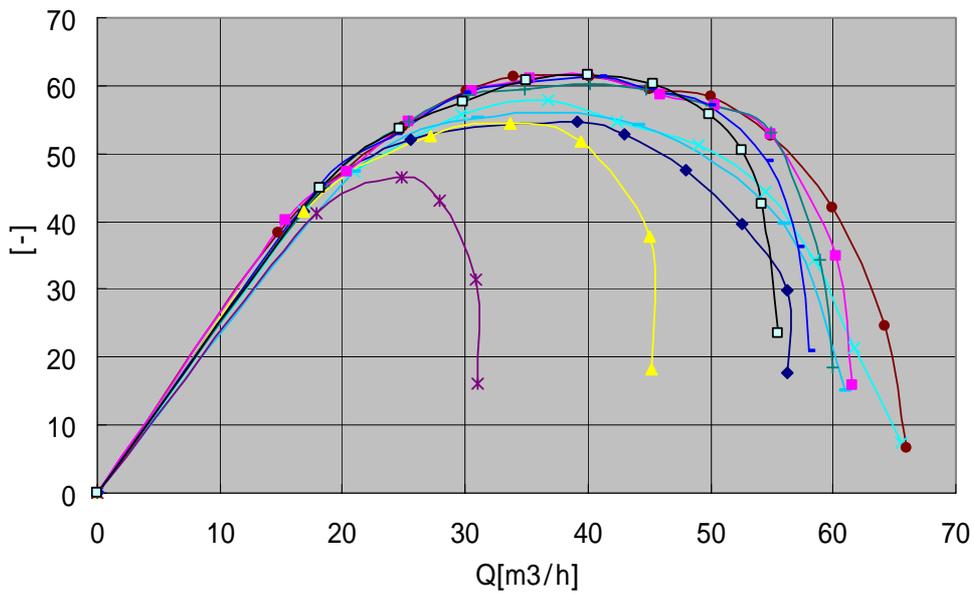


図 6.4.2.1.9 高速 2 次元羽根車 + TYPE8 組み合わせ性能試験(軸効率)

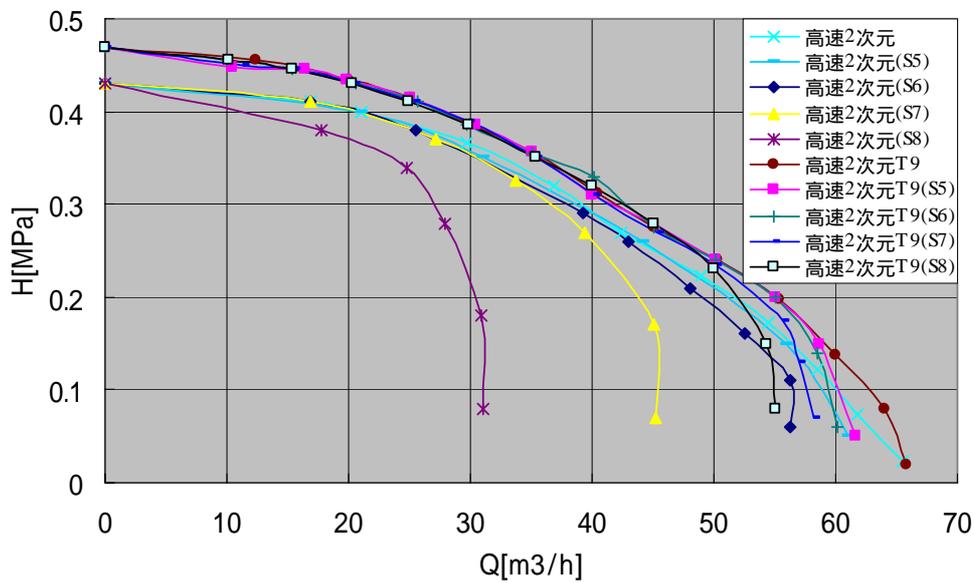


図 6.4.2.1.10 高速 2 次元羽根車 + TYPE9 組み合わせ性能試験(流量特性)

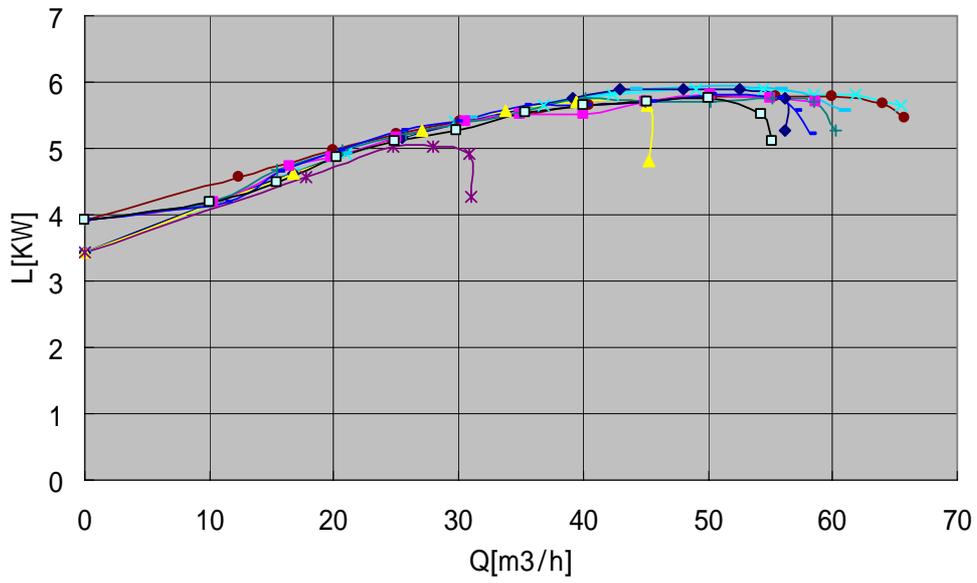


図 6.4.2.1.11 高速 2 次元羽根車 + TYPE9 組み合わせ性能試験 (軸動力)

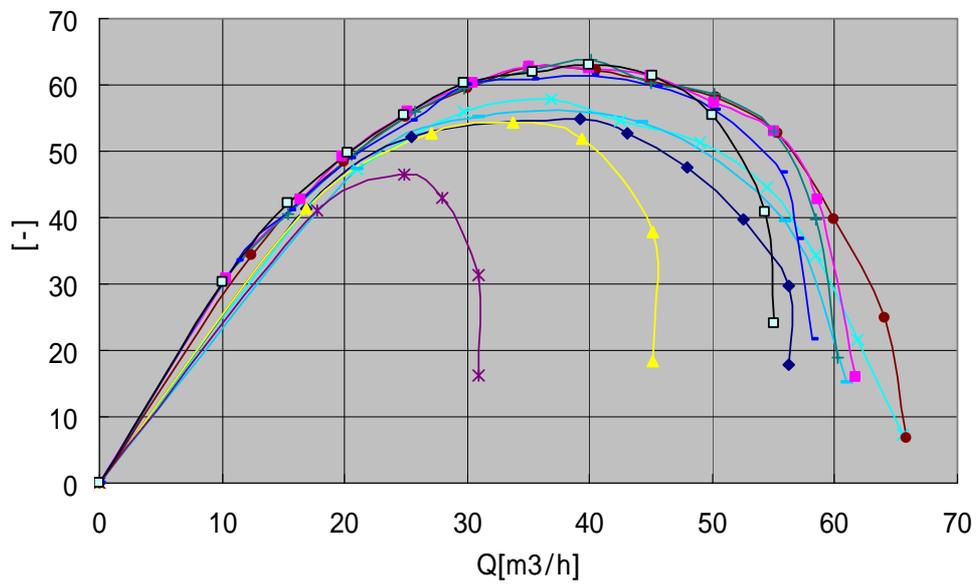


図 6.4.2.1.12 高速 2 次元羽根車 + TYPE9 組み合わせ性能試験 (軸効率)

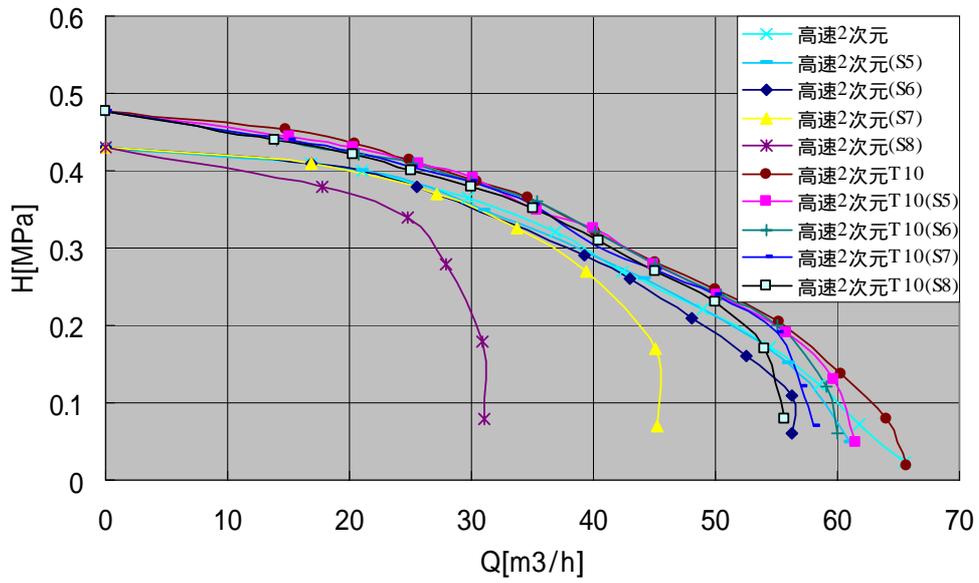


図 6.4.2.1.13 高速 2 次元羽根車 + TYPE10 組み合わせ性能試験 (流量特性)

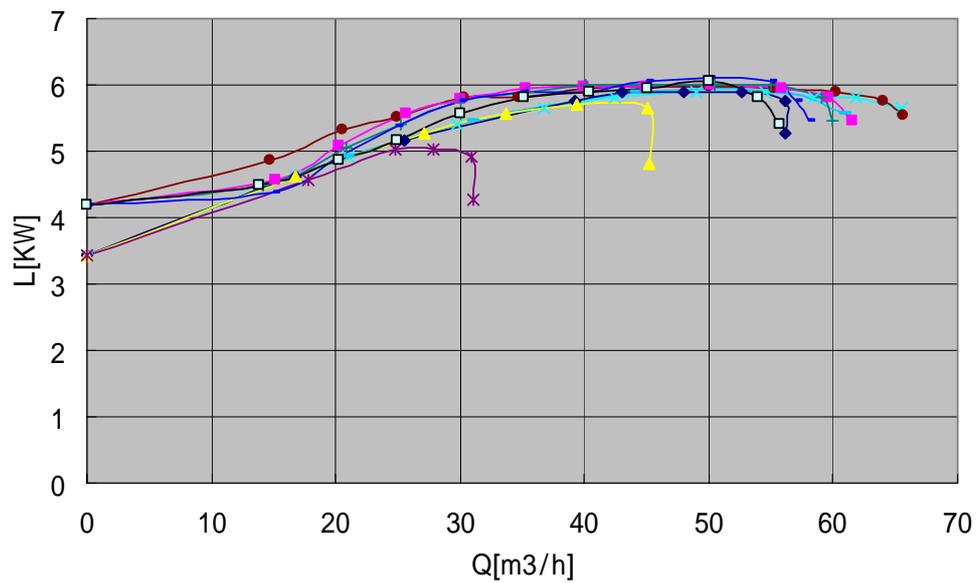


図 6.4.2.1.14 高速 2 次元羽根車 + TYPE10 組み合わせ性能試験 (軸動力)

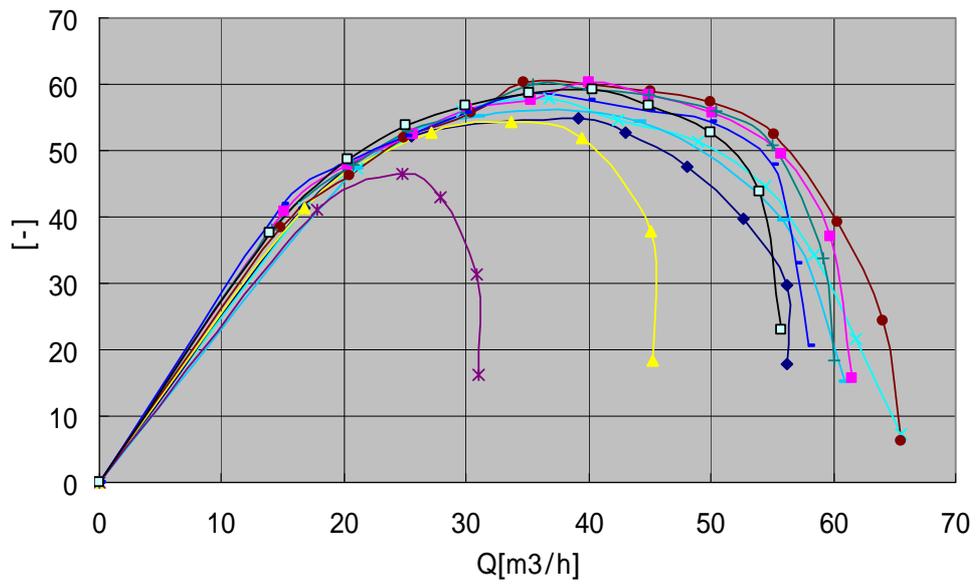


図 6.4.2.1.15 高速 2 次元羽根車 + TYPE10 組み合わせ性能試験 (軸効率)

6.4.2.2 新形状 3次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験

図 6.4.2.2.1～図 6.4.2.2.15 に新形状 3次元羽根車および 19 年度試験した予圧羽根車 TYPE6,7,8,9,10 を組み合わせた各諸特性を示す。

流量特性については全ての結果において予圧羽根車を組み合わせると、TYPE7,9 との組み合わせのみ揚程降下が見られるが、その他の組み合わせにおいては良好な揚程回復の効果が確認できた。前述した予圧羽根車単独試験結果にも示すように、TYPE9 においては $90\text{m}^3/\text{h}$ の最大流量値を実現するにもかかわらず、 $60\text{m}^3/\text{h}$ 未満において急落している。単純に組み合わせによる重ねあわせの現象が生じるのではなく、新形状 3次元羽根車の吸込部形状と予圧羽根車のマッチングが存在することが示されている。全域における揚程増加量は高速 2次元の組み合わせ結果と同様の傾向を示しており、設計仕様点付近において約 2～4%の揚程増加を得た。軸動力については流量特性に対応して、TYPE7,9 組み合わせ結果に示されているように Suction-8m において急落している。TYPE6 組み合わせ試験においては過大流量域で軸動力の減少が確認できるが、TYPE8,10 においては単独運転結果とほぼ重なり合っている結果となった。軸効率については各組み合わせ試験において単独運転結果より上回っている。TYPE8,9,10 においては最高効率値として約 62%、TYPE6,7 においては約 63%を得た。

本組み合わせパターンの中で TYPE7,9 における揚程降下を除いて各諸量の変化を考慮しても大差がなく、全ての予圧羽根車において良好な結果を得ている。予圧羽根車の製作コストを考慮すれば TYPE8 といえるが、いずれの組み合わせにおいても設計仕様点における特性に注目すれば、単独運転と比較して全揚程、軸効率も上昇する結果を得ている。昨年度の予圧羽根車組み合わせ試験における結果より TYPE2,3 に注目して、さまざまな予圧羽根車において試験を実施した。高速 2次元羽根車、新形状 3次元羽根車に本予圧羽根車を組み合わせても設計仕様点においては良好な結果を得ている。さらに、両羽根車の組み合わせを比較すれば、新形状 3次元羽根車との組み合わせがより効果的に働くことが各諸特性における全揚程、軸効率の上昇の幅から示されている。

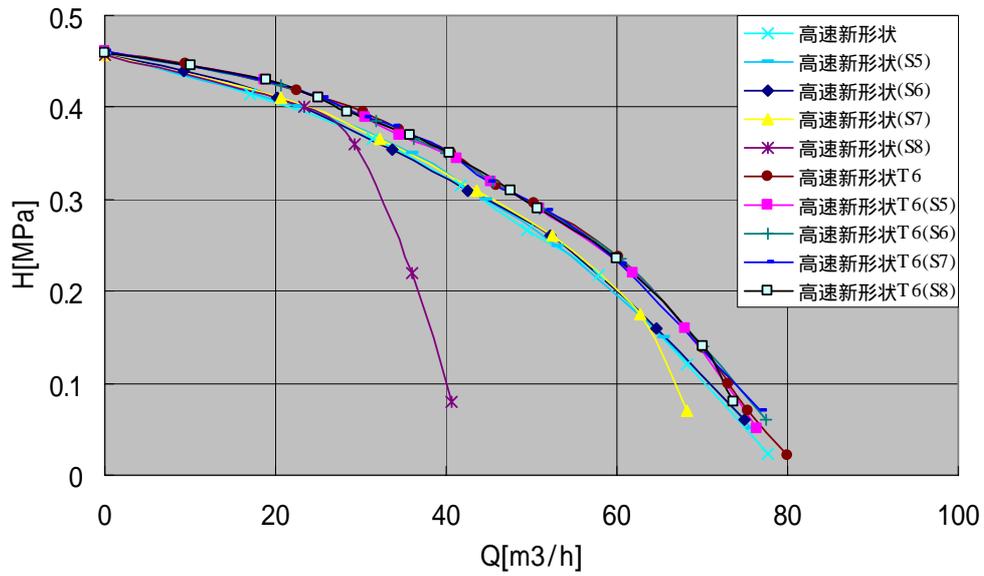


図 6.4.2.2.1 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE6 組み合わせ性能試験(流量特性)

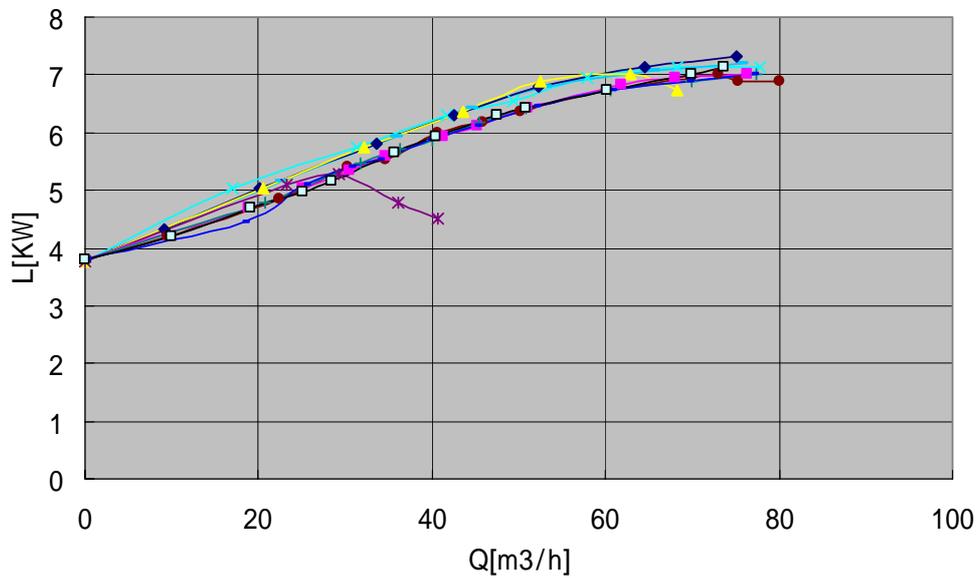


図 6.4.2.2.2 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE6 組み合わせ性能試験(軸動力)

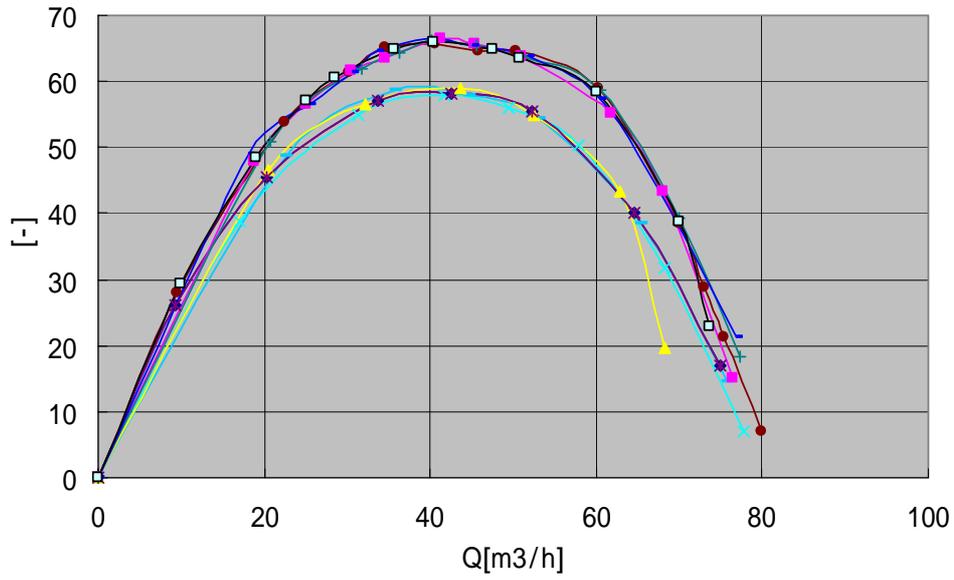


図 6.4.2.2.3 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE6 組み合わせ性能試験 (軸効率)

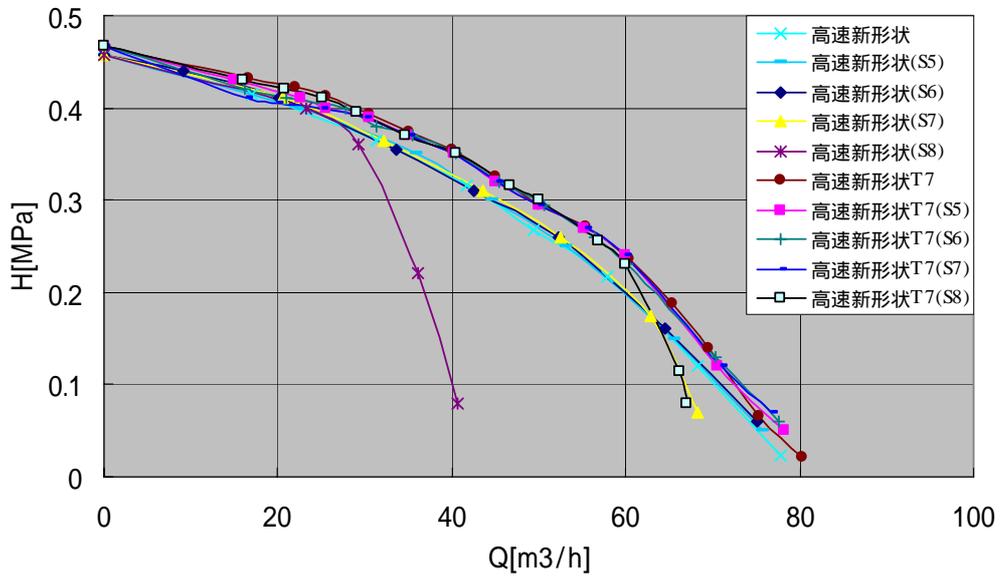


図 6.4.2.2.4 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE7 組み合わせ性能試験 (流量特性)

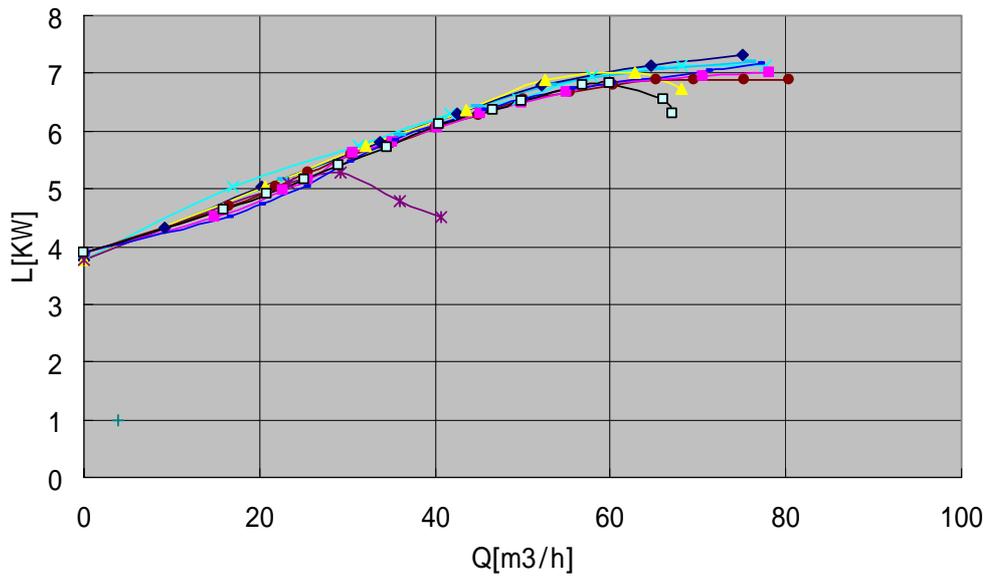


図 6.4.2.2.5 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE7 組み合わせ性能試験 (軸動力)

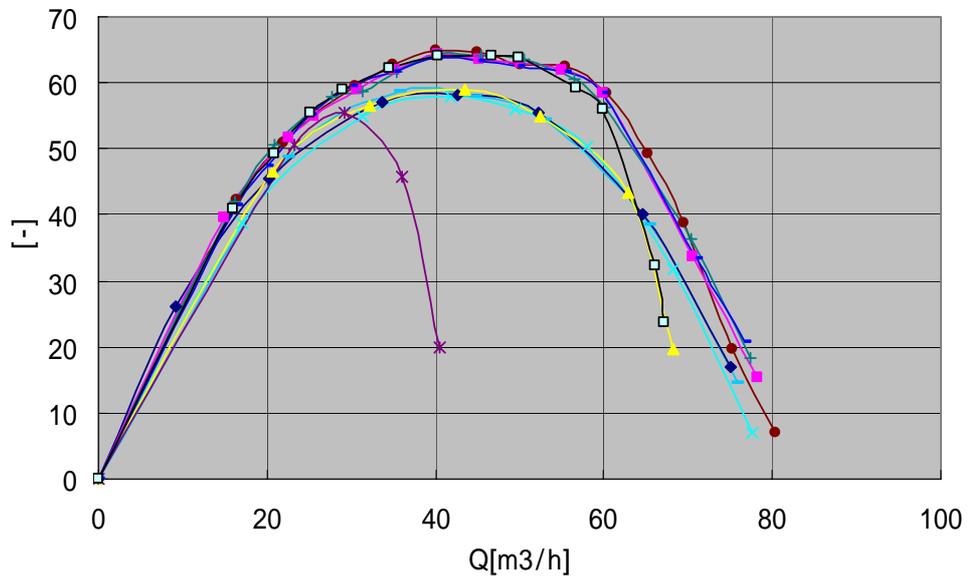


図 6.4.2.2.6 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE7 組み合わせ性能試験 (軸効率)

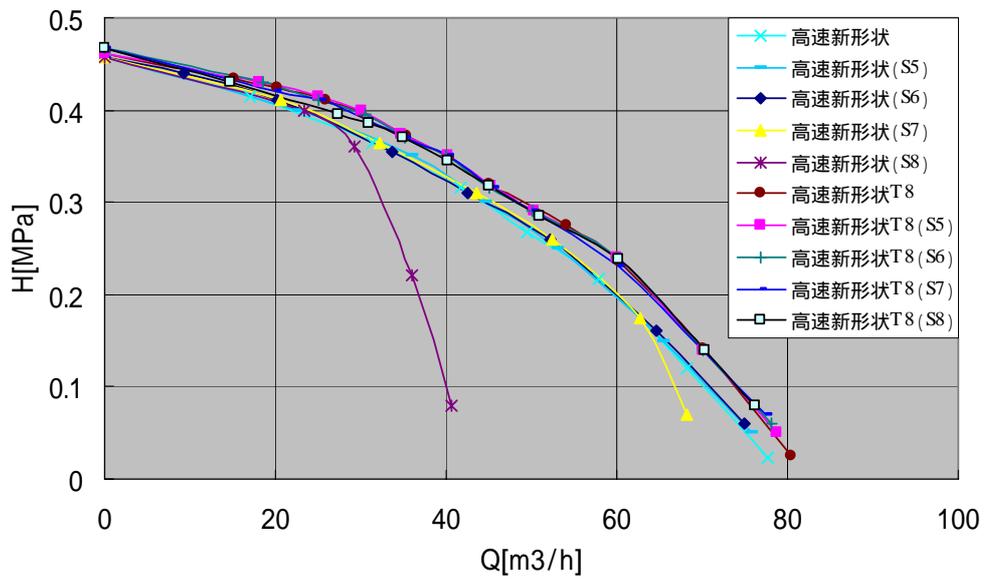


図 6.4.2.2.7 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE8 組み合わせ性能試験(流量特性)

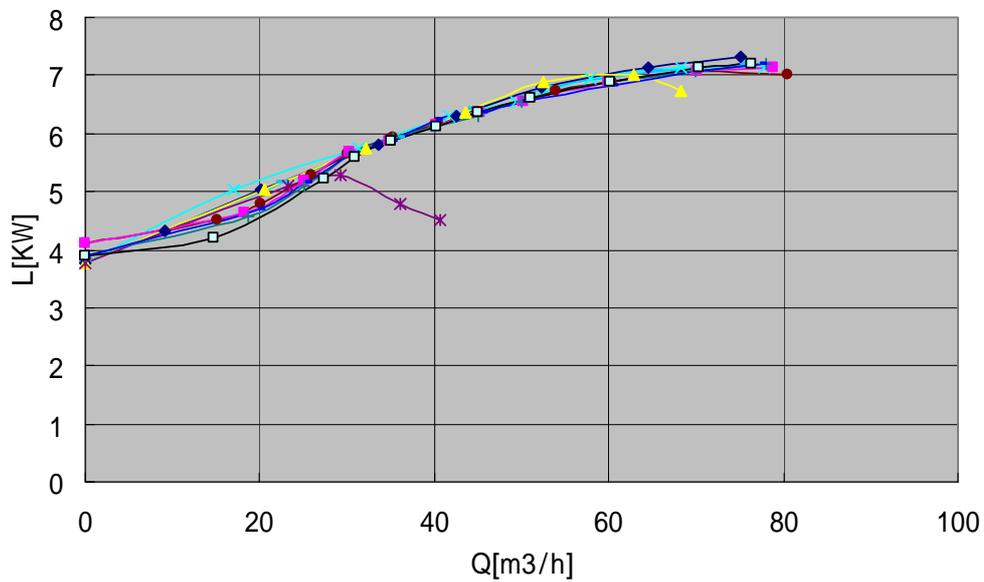


図 6.4.2.2.8 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE8 組み合わせ性能試験(軸動力)

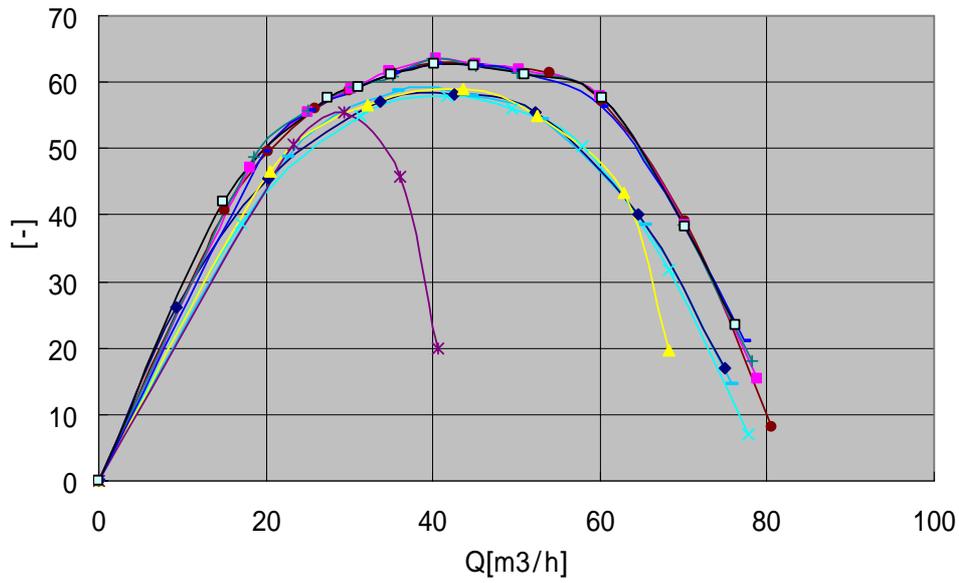


図 6.4.2.2.9 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE8 組み合わせ性能試験(軸効率)

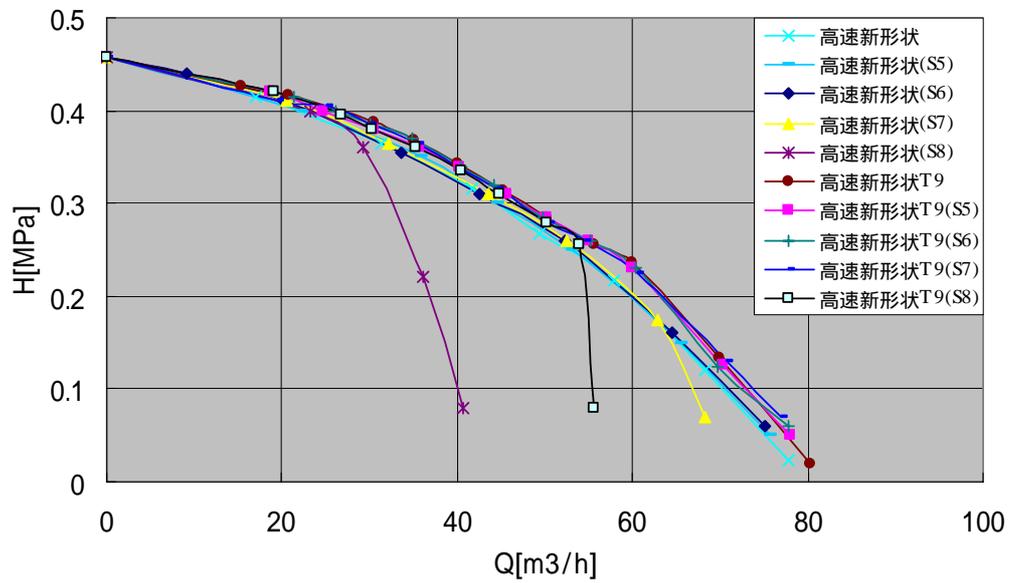


図 6.4.2.2.10 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE9 組み合わせ性能試験(流量特性)

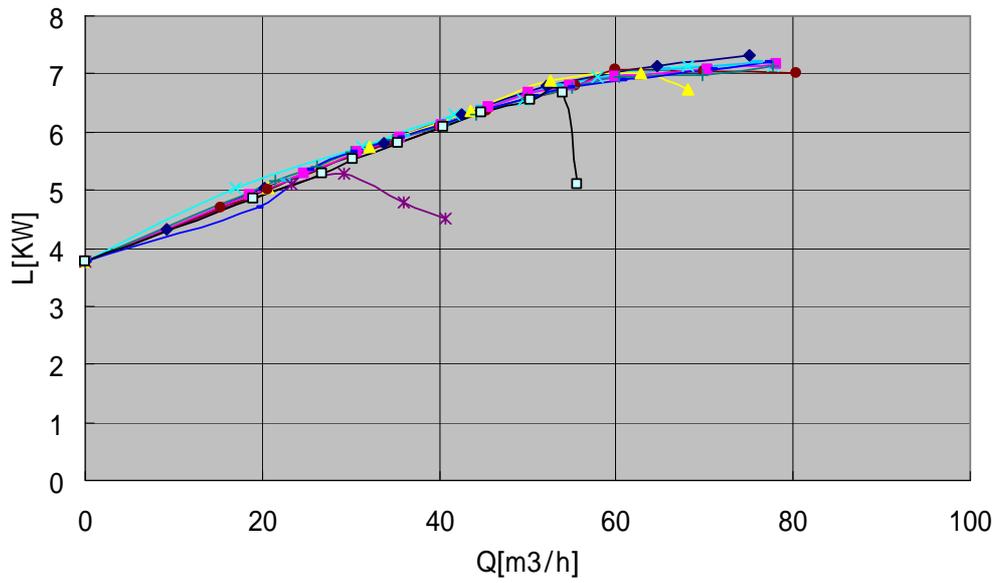


図 6.4.2.2.11 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE9 組み合わせ性能試験 (軸動力)

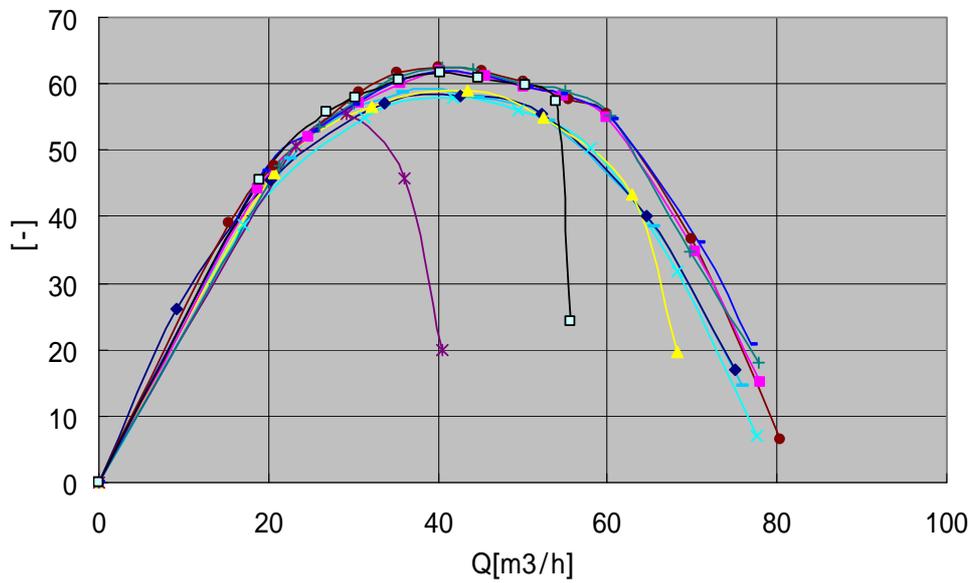


図 6.4.2.2.12 高速新形状 3次元羽根車 + TYPE9 組み合わせ性能試験 (軸効率)

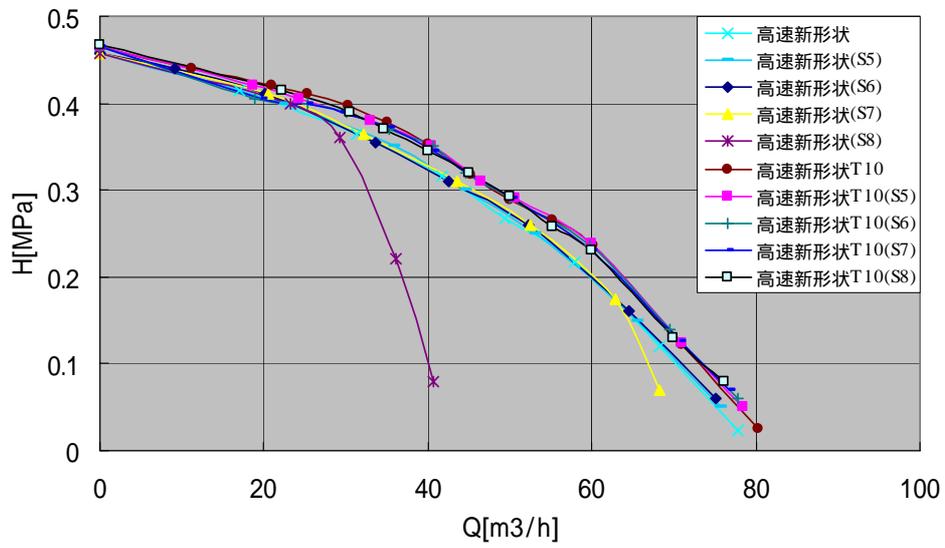


図 6.4.2.2.13 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE10 組み合わせ性能試験 (流量特性)

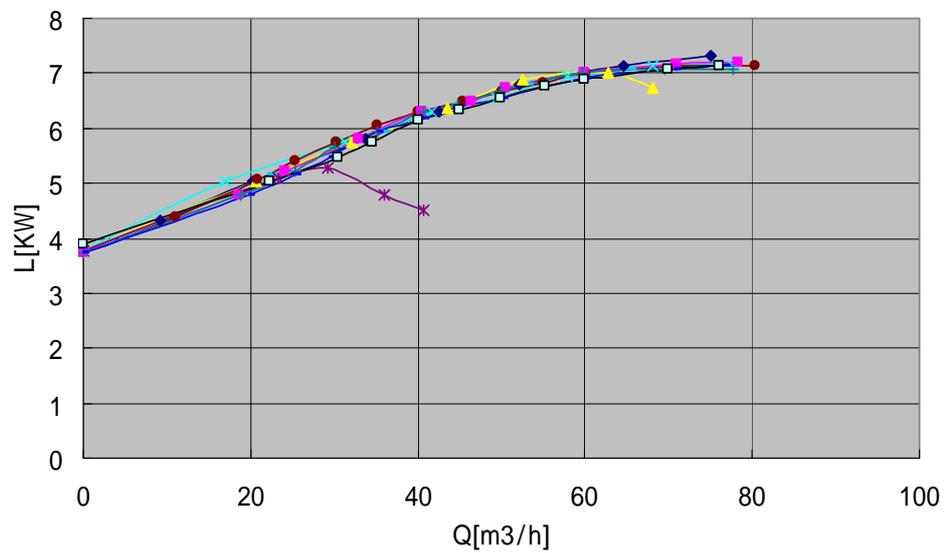


図 6.4.2.2.14 高速新形状 3 次元羽根車 + TYPE10 組み合わせ性能試験 (軸動力)

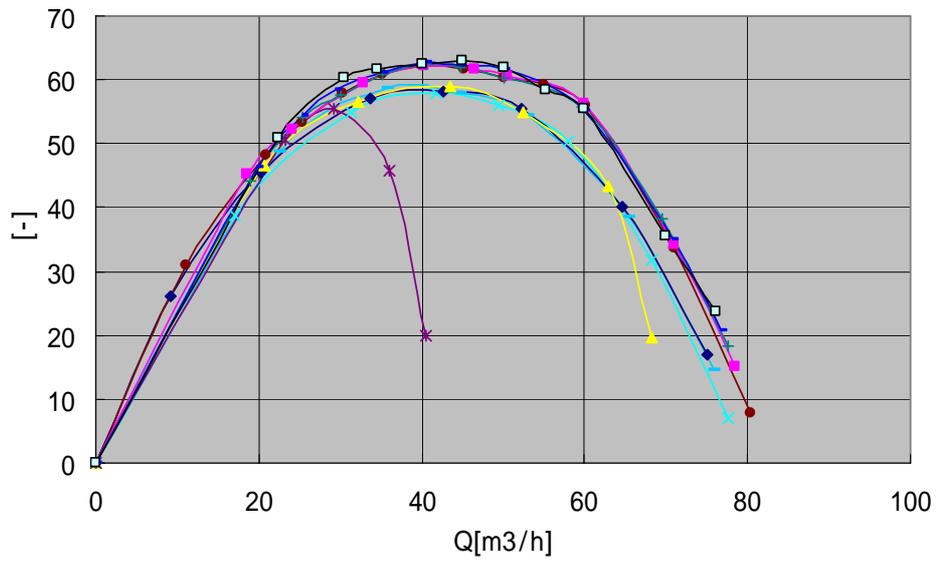


図6.4.2.2.15 高速新形状3次元羽根車 + TYPE10 組み合わせ性能試験(軸効率)

6.4.2.3 吸込性能試験

高速 2 次元羽根車組み合わせにおける要求 NPSH の変化を図 6.4.2.3.1 に示す。2 次元羽根車単独試験においては過大流量域に向かうにつれて増大しており、揚程急落の影響が要求 NPSH の値に現れていることがわかる。一方で組み合わせ試験においては、すべてのパターンにおいて単独試験よりも低くなっており効果が現れている。しかしながら組み合わせにおいても過大流量域における揚程低下が見られる影響のため低流量域から高流量域における要求 NPSH の変化量は大きいことがわかる。

高速新形状羽根車組み合わせにおける要求 NPSH の変化を図 6.4.2.3.2 に示す。高流量域へ向かうにつれて要求 NPSH が増大する傾向は高速 2 次元羽根車との組み合わせと同じ傾向である。高速新形状 3 次元羽根車はもともと吸込性能は良好であることを確認しており、2 次元羽根車単体における性能と比較しても要求 NPSH の値は全域において低いことが示されている。さらに、各予圧羽根車を組み合わせで試験を実施したところ、低流量域における要求 NPSH の値には大きな変化は見られないが、過大流量域に進むにつれて緩やかに変化している。TYPE7,9 においては他の予圧羽根車に比べると要求 NPSH が高くなっている。TYPE2,3,6 についてはほぼ同じ値を示しており、吸込性能は良好であることがわかる。特に TYPE8,10 の組み合わせについては要求 NPSH の値が低い水準に位置しており、吸込性能が向上している。

以上の結果より高速 2 次元羽根車および新形状 3 次元羽根車の単独試験においては新形状 3 次元羽根車の吸込性能が 2 次元羽根車よりも上回っていることが分かった。また組み合わせ試験における NPSH の分布を見れば、全ての予圧羽根車の組み合わせにおいて吸込性能が向上しており、全流量域における要求 NPSH の変化量も 2 次元羽根車の場合と比較して低いことから、本予圧羽根車は新形状 3 次元羽根車に対して効果的に働いている結果を得た。本結果は予圧羽根車の組み合わせにより主羽根車の吸込性能を改善させる有効な手段であり、本開発のみならず船用ポンプ全般への応用にも有効であることを示すものであると考えられる。また次節より示す温水性能試験では吸込側が高真空、高温となるため厳しい吸込条件を課すことになるが、本要求 NPSH の結果からよりよい結果を得られるものと期待される。

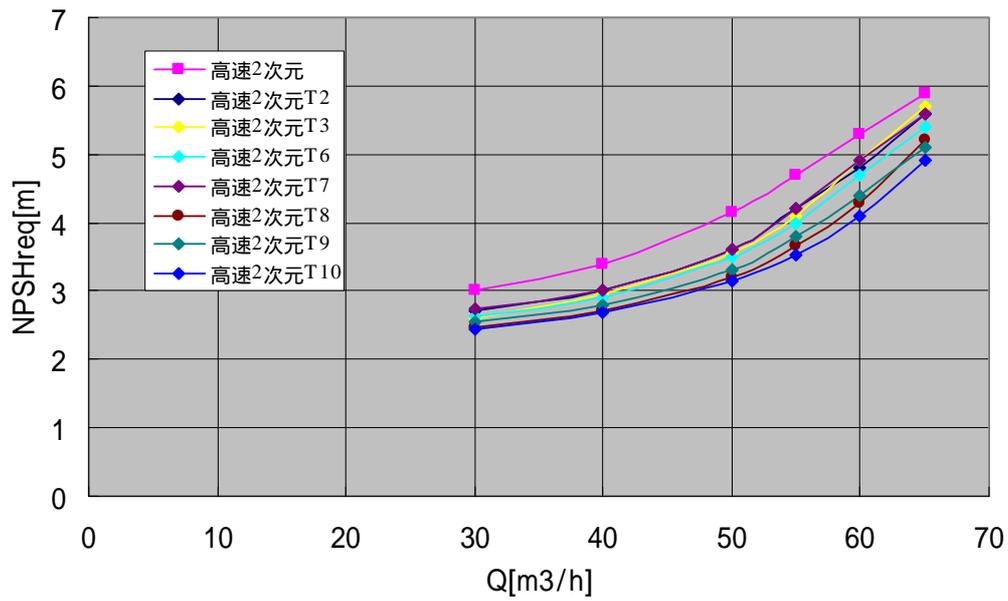


図 6.4.2.3.1 高速 2 次元羽根車および予圧羽根車組み合わせ吸込性能試験

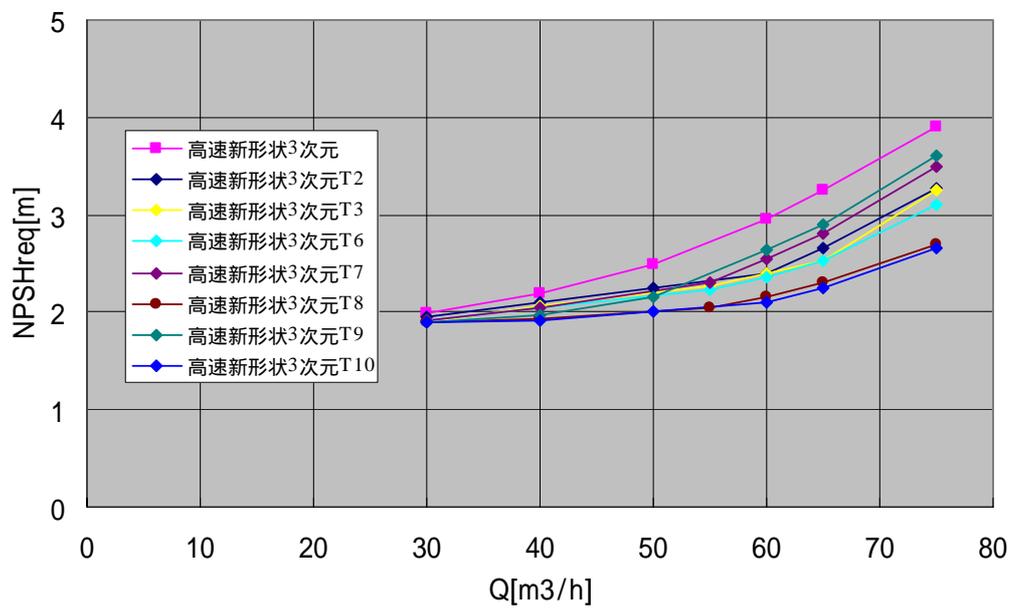


図 6.4.2.3.2 高速新形状 3 次元羽根車および予圧羽根車組み合わせ吸込性能試験

6.4.3 温水試験による高速型ポンプ性能試験

6.4.3.1 高速2次元および新形状3次元羽根車諸特性

本開発における目標値を満たすために温水設備における試験を実施した。前述した設備において、真空タンク内の温度、圧力及び水位を調節して仕様と同様な吸込状態になるように、有効吸込落差を可能な範囲で仕様に合わせて実施した。

図6.4.3.1.1に本温水設備における高速2次元羽根車および新形状3次元羽根車の単独試験における流量特性を示す。高速2次元羽根車においては $Q=30\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚程の急落が生じており、吸込側におけるキャビテーションの影響が顕著に現れていることがわかる。一方、高速新形状3次元羽根車は2次元羽根車よりも増大しており $Q=60\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚程が急落している結果を得た。吸込側の有効落差に加えて液温に相当する飽和蒸気圧力が付加されるために、通常の清水実験と比較すると吸込条件はさらに厳しくなり、その傾向がこの流量特性から明らかとなっている。

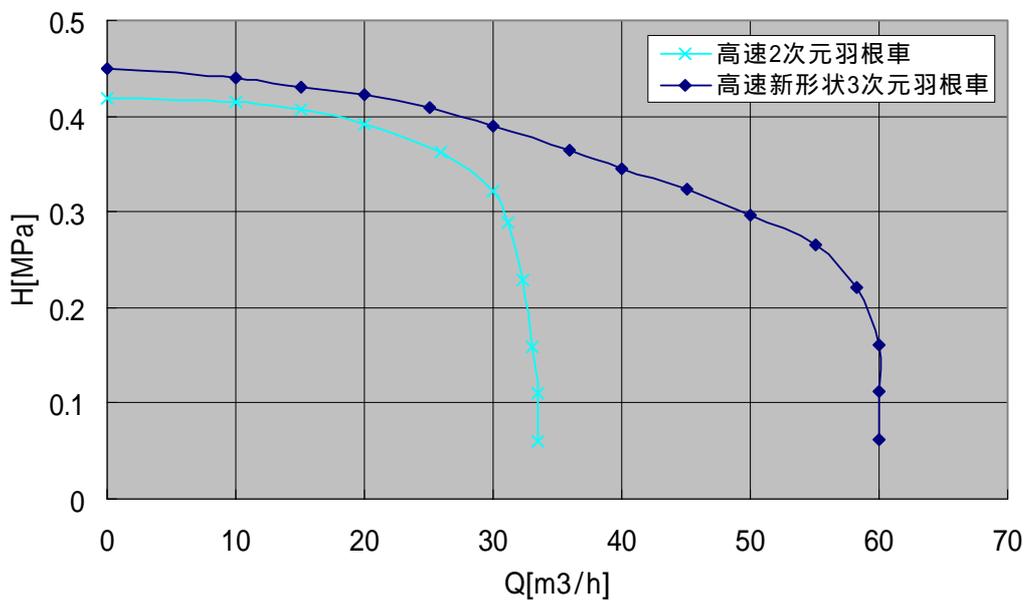


図 6.4.3.1.1 温水高速2次元および新形状3次元羽根車単独性能試験

6.4.3.2 高速2次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験

図6.4.3.2.1に本温水設備における高速2次元羽根車組み合わせ性能試験結果を示す。はじめに本開発において目標設定した仕様 ($Q=40\text{m}^3/\text{h}$, $H=0.25\text{MPa}$, 吸込揚程-6m, 液温 60°C , 3600min^{-1}) を満足していることがわかる。単独試験では $Q=30\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚程急落の結果となったが、本予圧羽根車の組み合わせが厳しい吸込条件下において効果的であることが分かった。締め切り圧力は約 0.46MPa を得ており、若干の上昇傾向を示している。 $Q=30\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚程が急落したが組み合わせ試験においては、TYPE2の過大流量域における若干の揚程低下を除いて、全ての予圧羽根車の組み合わせが約 $55\text{m}^3/\text{h}$ まで流量が増大していることがわかる。図6.4.3.2.2の軸動力については清水単独運転にて得られた最大軸動力値と比較して同じオーダーとなった。図6.4.3.2.3の軸効率については厳しい吸込条件下ではあるが、同様に清水単独運転と比較すれば設計仕様点における効率が若干上昇している結果を得た。本設備において有効吸込落差は設備の都合上、厳密に合わせることは難しく、得られる結果についても完全なデータとはいえないものの、2次元羽根車の高速回転化と予圧羽根車の組み合わせによって吸込側におけるキャビテーションに対して効果的に寄与している傾向が得られた。

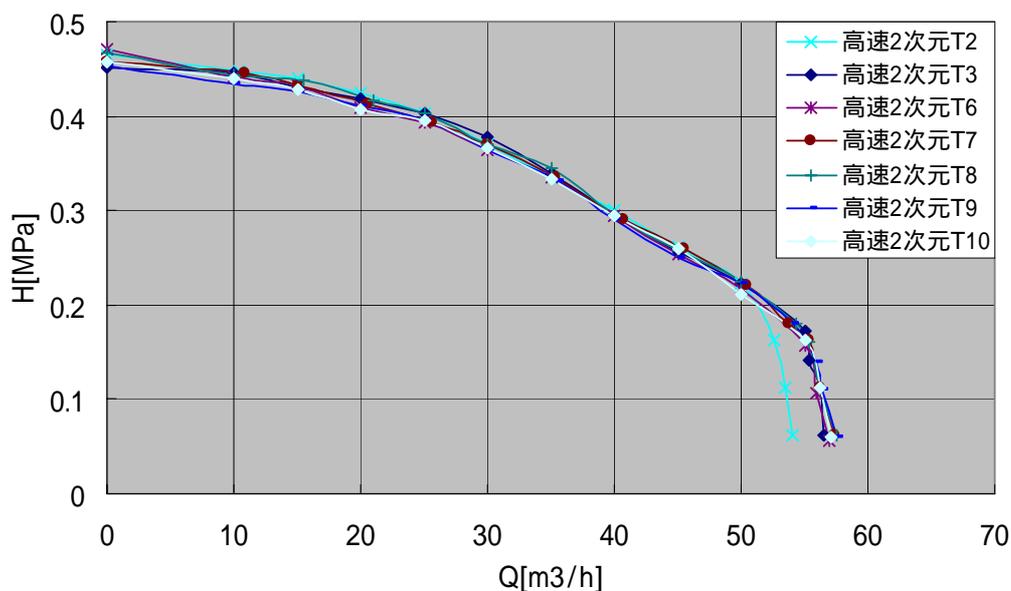


図 6.4.3.2.1 温水高速2次元羽根車組み合わせ性能試験 (流量特性)

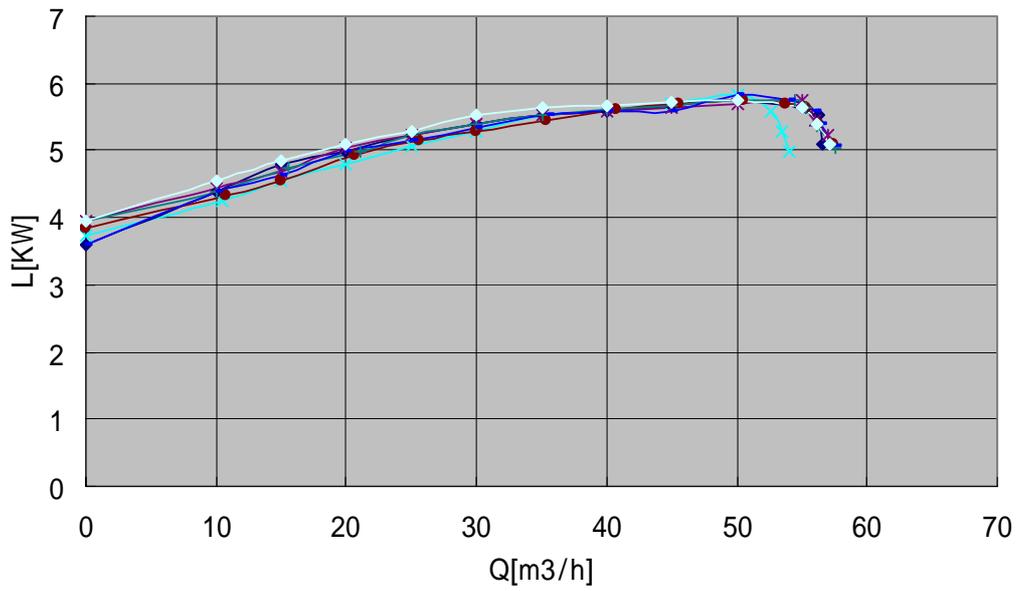


図 6.4.3.2.2 温水高速 2 次元羽根車組み合わせ性能試験（軸動力）

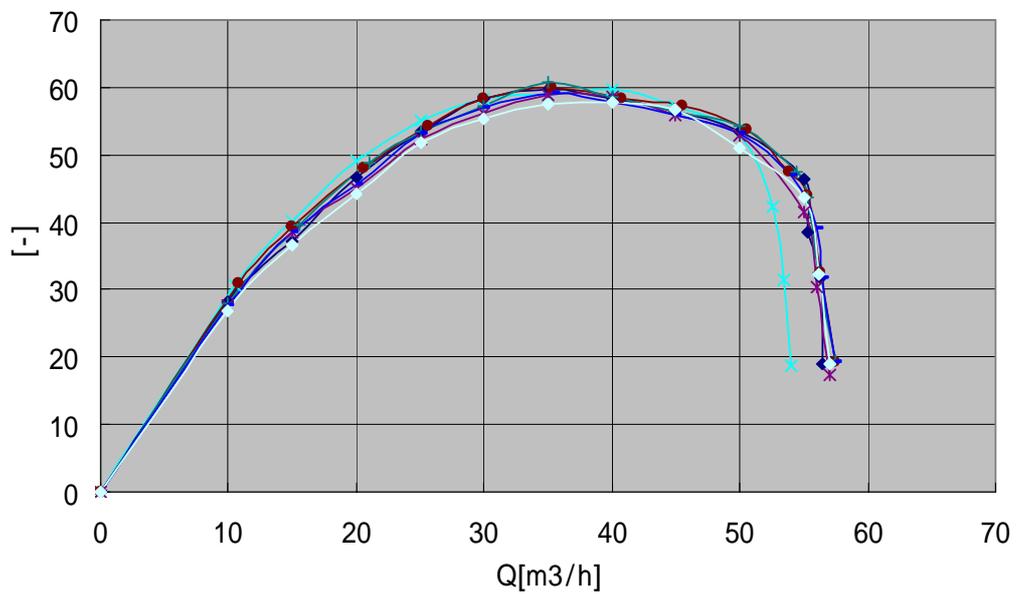


図 6.4.3.2.3 温水高速 2 次元羽根車組み合わせ性能試験（軸効率）

6.4.3.3 新形状 3次元羽根車および予圧羽根車との組み合わせ試験

図 6.4.3.3.1 に本温水設備における高速新形状 3次元羽根車組み合わせ性能試験結果を示す。高速 2次元羽根車組み合わせと同様に、目標設定した仕様を満足しており、本事業の開発目標を達成していることがわかった。また設計仕様点である $Q=40\text{m}^3/\text{h}$ では $H=0.35\text{MPa}$ となり、単独試験により得られた結果とほぼ同値を得た。単独試験では $Q=60\text{m}^3/\text{h}$ 付近で揚程急落の結果となったが、本予圧羽根車の組み合わせにより厳しい吸込条件下においても効果的に主羽根車の性能を引き出すことが分かった。締め切り圧力は約 0.46MPa を得ており、若干の上昇傾向を示している。TYPE2, TYPE3 は過大流量域における若干の揚程低下を示しているが、これを除けば全ての予圧羽根車の組み合わせで約 $75\text{m}^3/\text{h}$ まで増大していることがわかる。図 6.4.3.3.2 の軸動力については大きな動力上昇もなく清水単独運転結果とほぼ同様、あるいは若干下回る結果を得た。図 6.4.3.3.3 の軸効率についても厳しい吸込条件下ではあるが通常運転時と比較すれば設計仕様点付近での効率が若干上昇している結果を得た。

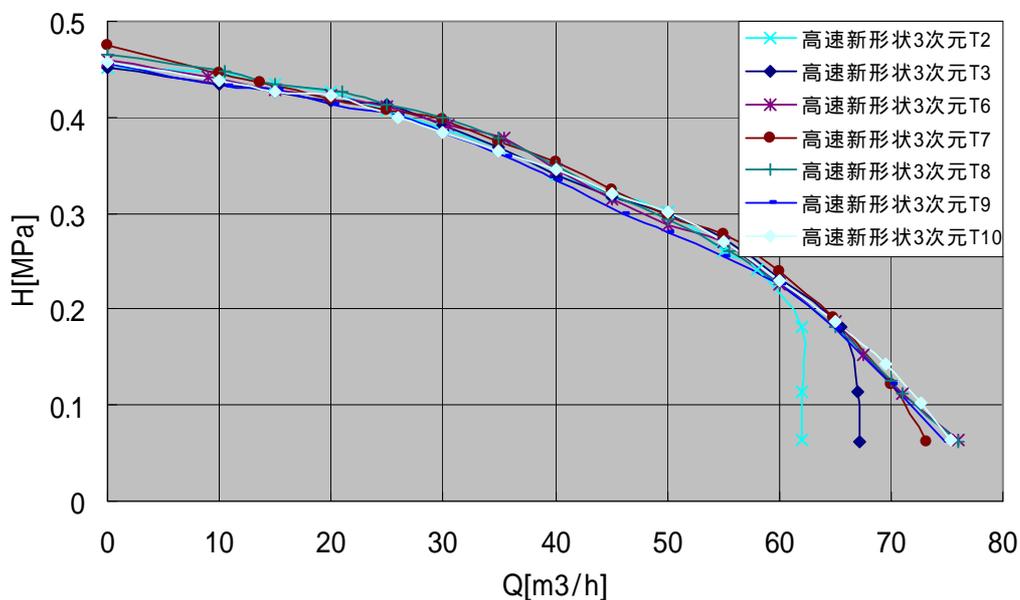


図 6.4.3.3.1 温水高速新形状 3次元羽根車組み合わせ性能試験（流量特性）

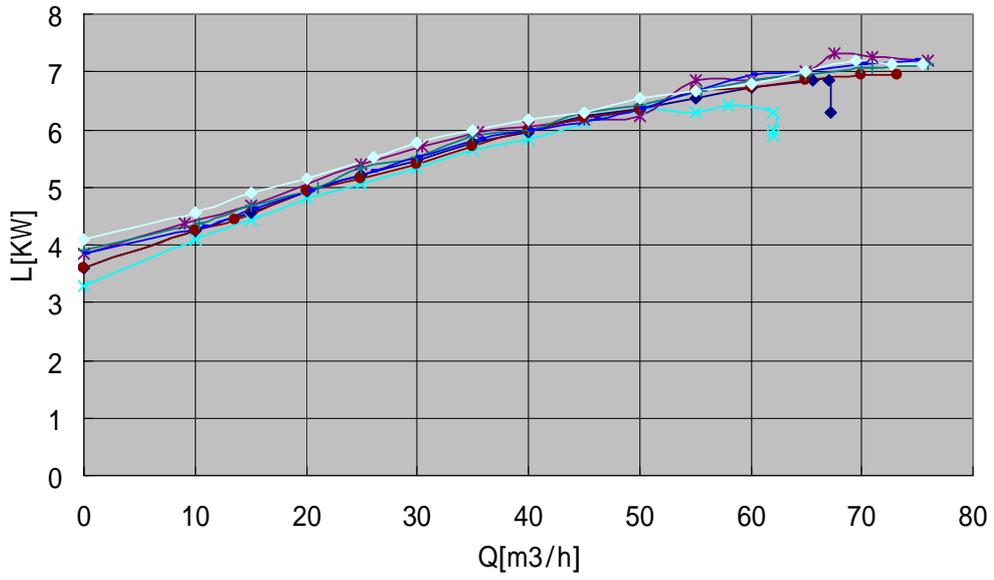


図 6.4.3.3.2 温水高速新形状 3 次元羽根車組み合わせ性能試験（軸動力）

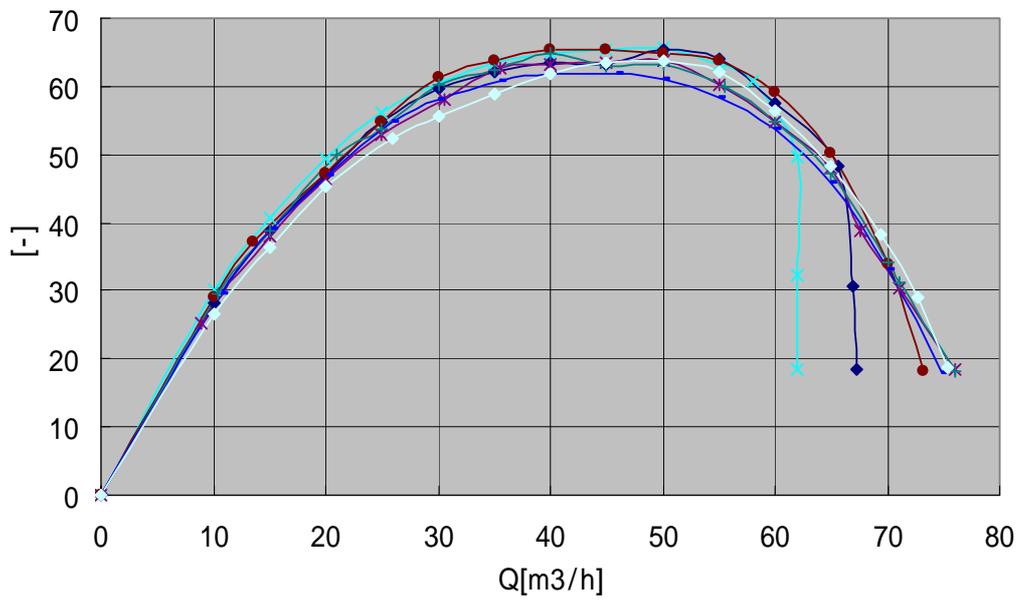


図 6.4.3.3.3 温水高速新形状 3 次元羽根車組み合わせ性能試験（軸効率）

6.4.3.4 温水運転時における特性評価

前節における温水運転性能評価の結果より、高速2次元羽根車は単体試験において吸込条件が厳しくなると目標値を満たす前に揚程が急落するが、本予圧羽根車を組み合わせると揚程急落はほぼ解消され吸込性能の改善を得ると共に、目標値を達成することができた。高速新形状3次元羽根車単体においてはもともと吸込性能が高速2次元羽根車よりも優れていることから、単体試験においても目標値を満たしている結果を得た。また、高速新形状3次元羽根車に予圧羽根車を組み合わせることにより、過大流量域における流量増加と軸効率の若干の上昇を得た。いずれの組み合わせにおいても良好な結果を得ており、本予圧羽根車の組み合わせは高速型ポンプ吸込側において発生するキャビテーションに対して効果的に働いており、吸込性能の改善傾向が得られた。

6.4.4 温水運転時における可視化試験

6.4.3 節における温水性能試験を実施したときの吸込側流動状態を可視化するために、吸込側の可視化試験を実施した。一例として各流量における TYPE9 および高速新形状 3 次元羽根車との組み合わせに注目して結果を示す。

設計仕様点 ($Q=40\text{m}^3/\text{h}$) 以上では流動状態は安定しており、この傾向は 2 次元羽根車における組み合わせ試験においても同様である。

$Q=30\text{m}^3/\text{h}$ 以下では吸込口から上流側に向けて気泡が一本の渦糸状に形成され旋回している様子を確認した。本装置において仕様点より低流量域側で運転したときの特異な現象であるが、予圧羽根車の上流部に掛けて繋がり、回転しながら長く伸長する旋回キャビテーションと呼ばれる現象であると考えられる。

さらに低流量域においては ($Q=20\text{m}^3/\text{h}$ 以下) 上記の旋回渦糸に加えてポンプ自体が不規則な振動と脈動を起こしている。このような現象は清水実験時には発生せず、また弾けるような金属音も生じていることからキャビテーションが発生している。

予圧羽根車を組み合わせることにより吸込性能改善に対して効果的であり、低流量域において不安定な流動状態になっても吸込性能は保たれている結果を得た。しかしながら、主羽根車、予圧羽根車、ポンプ軸が損傷する要因となるためポンプ自体に振動が生じることは望ましくない。さらに試験中に生じた旋回キャビテーションと推測される軸振動のため予圧羽根車の先端が可視化区間の透明な壁面に接触して一部を損傷した。一般的に設計仕様点での運転を前提にポンプを設計、運転されるが、振動や揚液の熱に対して強い設計が求められる。これらの問題については、予圧羽根車の開発と共に今後の開発課題として検討していきたい。



図 6.4.4.1 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 1 ($Q=15\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.2 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 2 ($Q=15\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.3 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 3 ($Q=25\text{m}^3/\text{h}$)

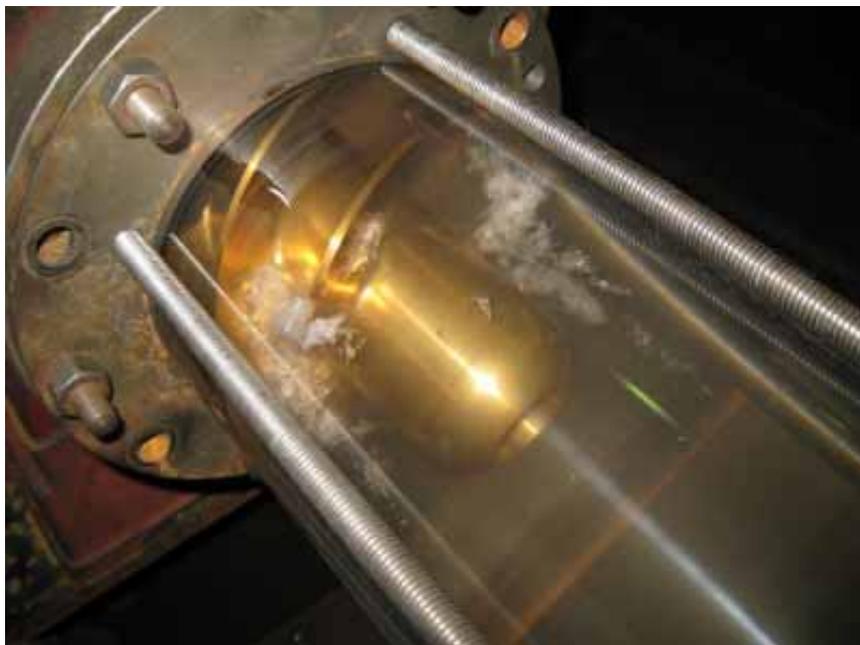


図 6.4.4.4 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 4 ($Q=25\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.5 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 5 ($Q=30\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.6 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 6 ($Q=30\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.7 温水高速新形状 3 次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 7 ($Q=40\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.8 温水高速新形状 3 次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 8 ($Q=40\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.9 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 9 (Q=55m³/h)



図 6.4.4.10 温水高速新形状 3次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 10 (Q=55m³/h)

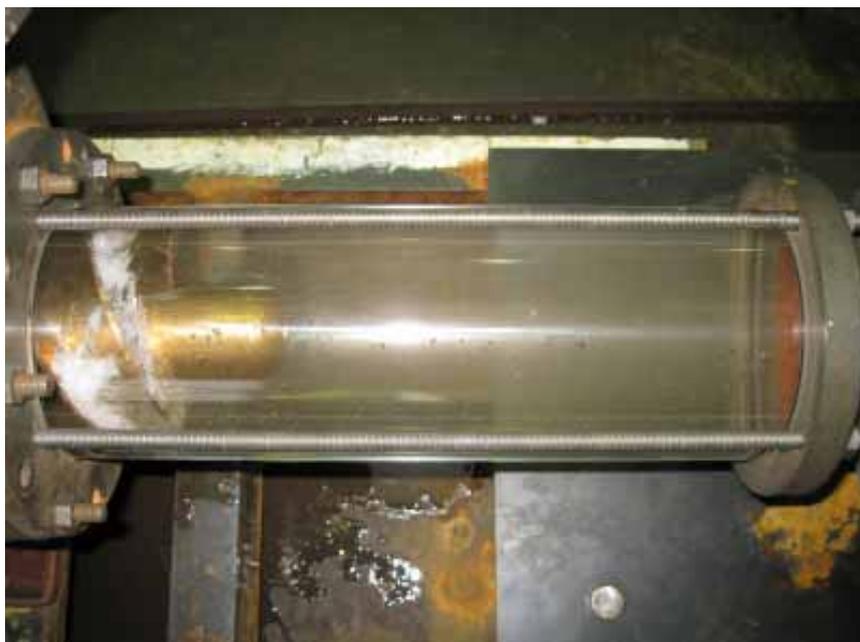


図 6.4.4.11 温水高速新形状 3 次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 11 ($Q=65\text{m}^3/\text{h}$)



図 6.4.4.12 温水高速新形状 3 次元羽根車および TYPE9 組み合わせ可視化 12 ($Q=65\text{m}^3/\text{h}$)

6.4.5 平成 19 年度開発研究の成果

平成 18 年度に実施した実験結果より、本年度は開発目標のコンパクト化 60%を達成すべく高速型ポンプの改良を主として展開した。予圧羽根車 TYPE2,3 を基本として予圧羽根車の改良設計を行い、新たに 5 つの予圧羽根車を新作、高速 2 次元羽根車および高速新形状 3 次元羽根車との組み合わせ試験を実施した。本組み合わせ試験において吸込性能の改善効果を確認すると共に、温水 60 における開発目標値の達成を試みた結果以下のような結論を得た。

1. 本事業の目標に挙げたポンプケーシング 60%コンパクト化と共に、温水 60 下における試験運転により開発目標値を達成することができた。
2. 本年度新作した予圧羽根車の中で、羽根先端における迎え角が 25 度と共通している TYPE8,9,10 の最大流量値が最も増大している結果を得た。軸動力については迎え角の増大につれて上昇し、軸効率は減少する傾向を得た。
3. 高速 2 次元羽根車、新形状 3 次元羽根車の組み合わせ試験において、全域における若干の揚程上昇と軸効率上昇を確認した。2 次元羽根車との組み合わせについては設計仕様点において約 4%の軸効率上昇を、新形状 3 次元羽根車との組み合わせについては約 5%の上昇を確認した。新形状 3 次元羽根車との組み合わせ結果から本予圧羽根車の製作コストを考慮すれば、TYPE8 との組み合わせが良好である。
4. 吸込性能試験より要求 NPSH を概算すれば高速 2 次元羽根車よりも新形状 3 次元羽根車の吸込性能が優れていることがわかった。また組み合わせにおいては両主羽根車の吸込性能を効果的に改善するが、特に新形状 3 次元羽根車においては TYPE8,10 の組み合わせが吸込性能に対して効果的であることが確認できた。
5. 温水 60 運転時には要求 NPSH の結果と同様に、高速新形状 3 次元羽根車の吸込性能が高速 2 次元羽根車の性能を上回っており、単独運転でも開発目標値を満たしている結果を得た。さらに高速新形状 3 次元羽根車との組み合わせ試験において、過大流量域における流量増加と軸効率の上昇を確認した。

7 まとめ

本事業は復水ポンプを例に高速化をはかることで小形化を目指したものである。小型化することで、ポンプの軽量コンパクト化を実現させると共に、船内艤装の簡素化がはかられ、また、本技術の他のポンプへの応用が期待される。

ポンプを高速化した場合、特に、復水ポンプの例では、ポンプの吸込側においてキャビテーションが発生しやすいとの問題がある。

そこで、キャビテーションを防止するために、予圧部を設けること、及び、羽根車の形状を改善した新型とすること、の2つの面からこれに取り組んだ。

結果としては所期の目標を達成することができたので、今後は商品化につとめていきたい。

7.1 事業成果

今回の成果をまとめると以下ようになる。

1. 従来の低速型（1800rpm）に採用される羽根車径 280mm は、高速化（3600rpm）することで、150mm となり、本事業の目標として挙げられているポンプケーシングを 60%の大きさにコンパクト化する目標を達成した。
2. 本開発で取り扱った新形状 3次元羽根車の吸込性能は高速 2次元羽根車の吸込性能より優れていることがわかった。両羽根車共に予圧羽根車との組み合わせ試験において全域における揚程上昇と軸効率上昇を確認し、吸込性能を効果的に改善する傾向を得た。特に新形状 3次元羽根車の組み合わせにおける吸込性能改善傾向が優れており、設計仕様点において最高約 5%の軸効率上昇を確認した。
3. 本開発において 10 種類の予圧羽根車を製作した。羽根車先端における迎え角が増大するほど流量、揚程が増大する傾向を得たが、主羽根車に対するマッチングを考慮した設計が必要となる。
4. 本開発で取り扱った予圧羽根車と高速新形状 3次元羽根車の組み合わせがポンプ吸込性能の改善に効果的であることを示した。本事業開発は高速回転化による小型化が難しい復水ポンプに対して新たな技術躍進であり、船内艤装の簡素化や造船設計技術の向上に繋がるものと期待される。

7.2 今後の課題

また、今後は以下のような取り組みを行いたいと考えている。

1. 2カ年にわたる本事業において10種類の予圧羽根車を製作したが、さまざまな弦節比と羽根先端の迎え角を調整して製作された。設計には経験的な要素が必要となるため、今後は本開発において得られた結果を展開してさらに試験を繰り返し、得られた経験値を数値化して予圧羽根車設計プログラミングを構築する。
2. 予圧羽根車にかかる製作費をさらに抑えるために、素材削り出し加工を鋳造加工に転換して将来的な量産化に対応していきたい。
3. 本新形状3次元羽根車、予圧羽根車の組み合わせはポンプ吸込口における耐キャビテーション対策として導入され、温水試験時に発生した低流量域における旋回キャビテーションに対しても良好な吸込性能を得た。但し、軸の振れによる吸込部と予圧羽根車の破損を防止するため、ポンプ設計強度の見直しにより旋回キャビテーション振動に対応したポンプへ改善を行いたい。



「この報告書は競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

社団法人 日本船用工業会
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-15-16 海洋船舶ビル
電話 03-3502-2041
F A X 03-3591-2206
<http://www.jsmea.or.jp>