

Development of a Water Supply Facility Using a Hydro-Powered Spiral Pump

Keizo YOKOYAMA^{*1‡}Rohann D'SOUZA^{*2}Benjamin EVERITT^{*3}

河川利用スパイラルポンプによる給水施設の開発

横山計三^{*1‡}ロハン・ドスザ^{*2}ベンジャミン・エバレット^{*3}

Abstract

In remote areas of developing countries, it is difficult to install water supply infrastructure, making agricultural production challenging outside of the rainy season. By installing a waterwheel-type Wirtz spiral pump that harnesses the flow of rivers, water can be supplied even during dry periods without the use of fossil fuels or electricity. In this study, we designed and manufactured a hydro-powered spiral pump with a waterwheel diameter of 1.2 and 1.5 meters, installed it in rivers within Japan and in rural areas on the island of Sumba in eastern Indonesia, and verified its performance. The results showed a water delivery rate of 5 to 10 L/min and a maximum head of 7 meters.

Keywords: Wirtz spiral pump, waterwheels, rivers, agricultural water, Indonesia, Sumba Island

キーワード: Wirtz スパイラルポンプ, 水車, 河川, 農業用水, インドネシア, スンバ島

1. はじめに

途上国の僻地にある農村の生活水準を向上させることで、栄養改善、早期の医療機関への受診、子供たちの教育を充実させることなど多くのメリットが享受できる。そのためには、農業生産の向上が一つの対策となり、とくに雨季と乾季が交互にあるような気候地域では、乾季でも農作物が収穫できるように灌漑設備を充実させることが有効である。また、水源までの距離が遠く、農地と水源の高低差があるようなところでは、人力で水を運ぶことが非常に困難であり、日常生活に多大な影響を与えている。このような地域においては、電力が供給されていないところも多く、水供給システムの運転方法が問題となる。ガソリンエンジンポンプなどの化石燃料を用いた灌漑設備を設置することは可能であるが、運転費用がかさむことや化石燃料の消費による温室効果ガスの排出量を増加させることにつながる。世界では、このような地域は多く存在するので、すべてが化石燃料による灌漑設備を稼働させれば温暖化や環境汚染を促進することになってしまう。

そこで、水をくみ上げるのに化石燃料を用いずに自然エネルギーを用いた方法で行うことにより、温室効果ガスの排出を避けることができ、さらに、燃料購入の必要がなく

なるので持続的な運用が可能となる。また、装置自体も、先進国で製造された製品を輸入して設置するのではなく、現地で製作することで、輸送による費用増大や運搬時の温室効果ガス排出を避け、さらに故障時の対応も現地で可能となる。

本研究では、川の流れを利用した水車駆動式のスパイラルポンプを製作し、川から数[m]～10[m]程度の高さにある農地に連続的に水を供給することを試みた。水車駆動式のスパイラルポンプは商品化されている¹⁾が、欧州製で高価であるため、途上国における普及は困難であり、さらに故障してもメンテナンスを行うことも難しい状況にある。したがって、現地で入手可能な材料で、かつ安価に製作できることを目的に設計方法の検討、試作を行った。そして現地で製作、設置および性能確認を行った。対象地域は、インドネシア共和国の東部に位置するスンバ島東スンバ県で、現地 NGO の協力のもとで行った。

2. Wirtz スパイラルポンプ

2.1 ポンプ概要

Wirtz スパイラルポンプ（以下スパイラルポンプ）は、1746年にスイスの H.A.Wirtz によって発明された²⁾。特殊

*1 Visiting prof., SIT Research Lab., Shibaura Institute of Technology
29-11, Ichigaya-sanaicho, Shinjuku, Tokyo, 162-0846, Japan

‡e-mail: kyokoyam@shibaura-it.ac.jp

*2 Manukau Institute of Technology

*3 Victoria University of Wellington

Received: May 21 2026, Accepted: July 2 2026

*1 芝浦工業大学 SIT 総合研究所 客員教授
(〒162-0846 東京都新宿区市谷左内町 29-11)

‡e-mail: kyokoyam@shibaura-it.ac.jp

*2 マスカウ工科大学

*3 ヴィクトリア大学ウェリントン

(原稿受付: 2026年5月21日, 受理日: 2026年7月2日)

な部品が少なく簡単に製作できる装置で、途上国での使用に向いている。

スパイラルポンプは、Fig.1 に示すように、フレキシブルなホースをスパイラル状に巻き付けたコイルで形成され、回転することによりコイル外周の端部から水が導入され中心部から吐出される。水が吸い込まれる部分には、効率よく水が吸い込めるように漏斗状に広げたスクープを入口部に取り付ける。コイルのサイズ、巻き数、回転速度、水没深さなどによって性能が異なり、コイルの巻き数が多いほど吐出流量は変わらずに吐出圧力が高くなる。また、回転数の増加と水没深さの増加の 2 つの要因で出口水量が増大することなどがわかっている²⁾。

2.2 吐出圧力、水量等の関係

スパイラルポンプは、回転を利用して圧力差を作り出し、液体を送り出す容積式ポンプである。水車駆動式のスパイラルポンプでは、水車のホイールにスパイラルコイルを取り付けて回転させる。作動させるエネルギー供給源は、流れの運動エネルギーであり、水車ホイールに取り付けられた羽根板を介して供給される。

スパイラルポンプでは、水と空気が交互にホース内に導入され、コイルの一巻ごとに水柱により差圧が生じ、空気が圧縮される。ポンプ出口の圧力は、各水柱の差圧の総和となる。したがって、スパイラルポンプでは、コイルの巻き数つまり水柱の数によって吐出圧力が決定される (Fig.2 参照)。

コイルのひと巻ごとの差圧 h_i [m] の合計が出口の圧力 H_T [m] となるので、式(1)のように示される。

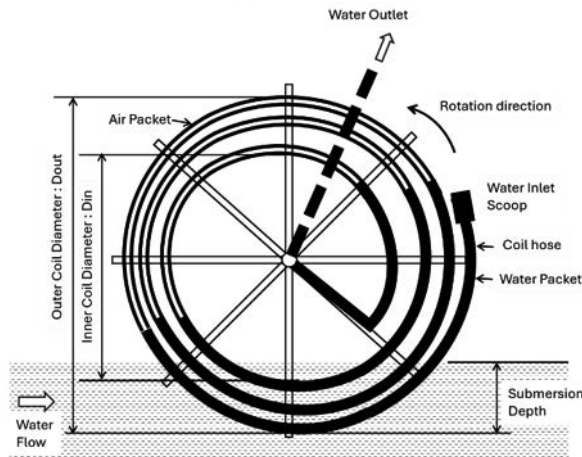


Fig. 1 Schematic diagram of the spiral pump³⁾

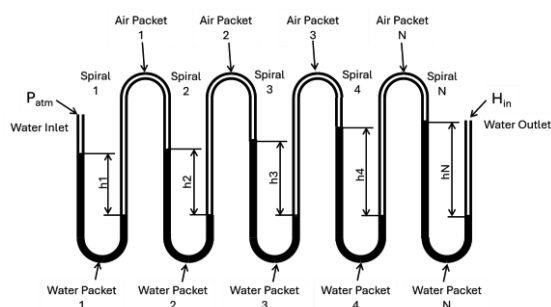


Fig. 2 The state of the water and air inside the hose³⁾

一方、1 回転あたりにアウターコイル (最も外側のホース) の空気柱の圧力は、アウターコイルの外径 D_{out} [m] (水車駆動式では、ホイール外径と同じ) とほぼ同じになり、インナーコイル (最も内側のホース) の上昇圧力 H_{in} [m] は、式(7)によって求められる。また、コイル巻き数 N は式(8)となる。なお、アウターコイルの圧力 P_{out} [m]、空気体積 V_{out} [m³]、インナーコイルの圧力 P_{in} [m]、空気体積 V_{in} [m³] は式(2)~(6)の関係にある³⁾。

$$H_T = \sum_1^N h_i \quad \dots (1)$$

$$V_{out} = \pi D_{out} \frac{d^2}{4} \quad \dots (2)$$

$$V_{in} = \pi H_{in} \frac{d^2}{4} \quad \dots (3)$$

$$P_{out} = P_{atm} + D_{out} \quad \dots (4)$$

$$P_{in} = P_{atm} + H_T \quad \dots (5)$$

$$P_{out} V_{out} = P_{in} V_{in} \quad \dots (6)$$

$$H_{in} = \frac{[P_{atm} + D_{out}]}{[P_{atm} + H_T]} \times D_{out} \quad \dots (7)$$

$$N = \frac{2H_T}{[D_{out} + H_{in}]} \quad \dots (8)$$

ここで

H_T : 総圧力上昇 total head [m], h_i : 各コイルの差圧[m]

P_{out} : アウターコイルの圧力 [m], V_{out} : 空気体積 [m³]

d : コイルホース内径 [m]

P_{in} : インナーコイルの圧力 [m], V_{in} : 空気体積 [m³]

H_{in} : インナーコイル圧力上昇 inner coil head rise [m]

P_{atm} : 大気圧 atmospheric pressure head [10.3 m]

D_{out} : アウターコイル外径 outer coil diameter [m]

N : コイル巻き数[-]

2.2.1 スパイラルコイル巻き数と吐出圧力

式(1), (7), (8)より、スパイラルコイル巻き数とアウターコイル外径、吐出圧力の関係は Table 1 のようになる。この表から、アウターコイル外径と必要な圧力からコイル巻き数が決定できる。なお、スパイラルコイルは、アウタ

Table 1 Number of coils of hose

		Outer coil diameter [m]								
		1	1.2	1.5	1.8	2	2.2	2.5	2.8	3
Total Head H_T [m]	7.5	10.6	8.7	6.9	5.7	5.1	4.6	4.0	3.5	3.3
	10	14.8	12.2	9.7	8.0	7.2	6.5	5.6	5.0	4.6
	15	23.8	19.8	15.7	13.0	11.6	10.5	9.2	8.1	7.5
	20	33.5	27.8	22.1	18.3	16.4	14.8	12.9	11.5	10.7
	25	43.6	36.1	28.7	23.8	21.3	19.3	16.9	15.0	13.9
	30	53.9	44.7	35.6	29.5	26.4	23.9	20.9	18.6	17.3
	35	64.4	53.5	42.6	35.3	31.7	28.7	25.1	22.3	20.7
	40	75.1	62.4	49.7	41.2	37.0	33.5	29.3	26.1	24.3

一コイル外径の 1/2 まで巻き付けるとし、ホースの外径から最大巻き数が求められ、Table 1 の白地部分のみ製作可能となる。

2.2.2 流量と回転数

流量 Q [L/min] は、入りのホースが 1 回転で掬える水量に回転数 Rev [rpm] を掛けたものとして計算される。掬える水量 V_w [m³] は、アウターコイル外径、ホース内径、スクープの径や長さ、水没深さによって求められる。なお、スパイラルコイルが水車の側面の片面のみの場合は、シングルコイルと呼び、両側面にスパイラルコイルを取り付けた装置をダブルコイルと呼んでいる。この場合は、流量がほぼ 2 倍となる。

$$Q = Rev \cdot V_w \cdot 1000 \quad \dots (9)$$

ここで

Rev : 水車回転数 [rpm], V_w : 1 回転で掬う水量 [m³]

2.2.3 水車羽根板と川の流速

ポンプを駆動するのは、川の流れとそれを受ける水車羽根板サイズに関係する。ポンプの運転に必要な回転トルクと川の流速から水車羽根板のサイズが決定される。必要なトルク τ_{pump} [Nm] を式(10)、水車羽根板に作用する川の力 F_{paddle} [N] を式(11)、(12)に示す。式(11)は、必要トルクから求める式、式(12)は川の流れのエネルギーから求める式である⁴⁾。

$$\tau_{pump} = g \rho H_T A_{hose} R_{out} \quad \dots (10)$$

$$F_{paddle} = \frac{\tau_{pump}}{R_{out} - L_{pw} \times 0.5} \quad \dots (11)$$

$$F_{paddle} = \frac{1}{2} \rho C_D A_{paddle} (V_{river} - U_{paddle})^2 \quad \dots (12)$$

ここで、

g : 重力 [9.8 m/s²], ρ : 流体密度 [1000 kg/m³],
 H_T : 総水頭上昇 [m], A_{hose} : ホース断面積 [m²],
 R_{out} : ホイールの半径 [m], L_{pw} : 水車羽根板の水没長さ [m],
 A_{paddle} : 水車羽根板の水没面積 [m²], V_{river} : 川の流れの速度 [m/s],
 U_{paddle} : 水車羽根板の周速 [m/s],
 C_D : 水車羽根板の抗力係数(長方形板縦横比 1:3 =1.17)⁴⁾

3. 設計・製作概要

3.1 概要

スパイラルポンプの設計にあたっては、現地で製作できること、材料はできるだけ現地で調達が可能で安価に製作できることを考慮した。2 章の計算根拠をもとに計算シートを作成し、ポンプ仕様や各部材の材質を決定し、国内で試作・試験を行った。その後、現地で同じものを製作し、さらに軽量化や長寿命化を目指して違う材料やサイズのポンプも製作・試験を行った。

3.2 計画

ホイール直径 1.5 [m]、ダブルコイル、揚程 6 [mH]、流量 7 [L/min] のポンプを製作することとし、具体的な検討を行った。ホイールの直径からコイル巻数 5.3 [巻] (Table

1 より) とし、スパイラルコイルのホース内径 25 [mm] とし、スクープサイズ、水没深さ (300 [mm] とする) などから、約 6 [回/min] の回転数で所定の水量が得られることが計算された。また、ホースの必要長さは 19 [m]、回転トルクから水車羽根板の幅と高さは、それぞれ 0.91 [m] × 0.225 [m] とした。なお、水車の直径からスパイラルコイルは 13 [巻] まで巻くことができるが、本実験では、10 [巻] とした。

3.3 製作

前節で求めた設計数値に従って、水車駆動式スパイラルポンプを製作した。Fig.3 に設計図、Fig.4 に外観を示す。この例では、水車の回転効率を考慮し、水車羽根板の角度を垂直方向から 30 [°] の傾きとしている⁵⁾。

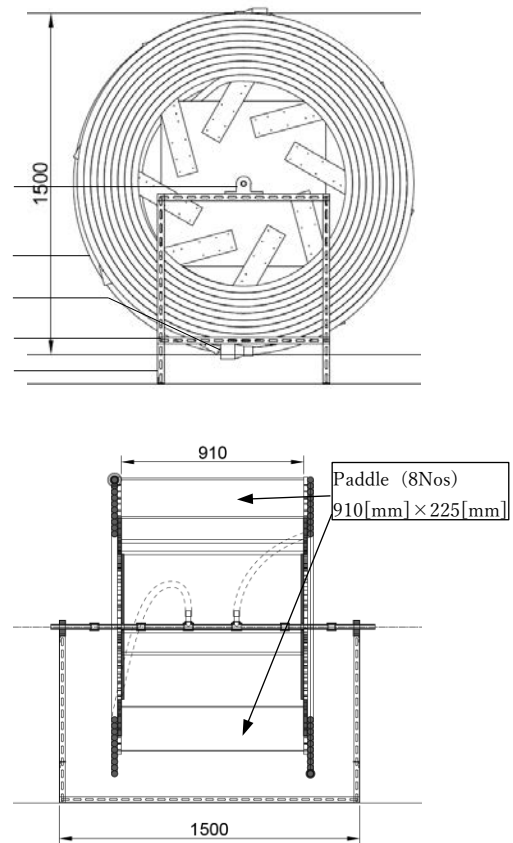


Fig. 3 Pump design drawings

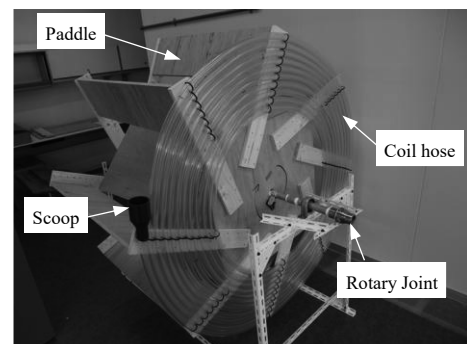


Fig. 4 View of spiral pump

4. ポンプ実測結果

4.1 予備試験の概要

予備試験として簡易プールにポンプを設置し手で水を回転して試験を行った。4階建ての建物の各階で水量を計測した。

4.2 河川での試験

実際の川の流れにおける性能として、シングル及びダブルコイルでの性能検証を多摩川で行った。場所を利用するにあたって、河川管理事務所および所轄自治体に届けて許可をもらった。

4.3 試験結果

予備実験と河川実験の回転数と水量の計測結果を Fig.5, に示す。水量は、回転数に比例して増加するが、設計計算に対してはおおむね 65 [%]程度となった。この理由としては、スクープの掬える水量やコイル内の抵抗などが計算と異なることが影響していると考えられる。なお、予備試験において最大吐出高さは 9 [m]で 3 [L/min]の水量が得られた。また、河川におけるシングルとダブルコイルの測定結果を Fig.6 に示す。ダブルコイルの場合は、水量が約 2 倍になり、位相を 180 [°]ずらすことで比較的連続して吐出された。

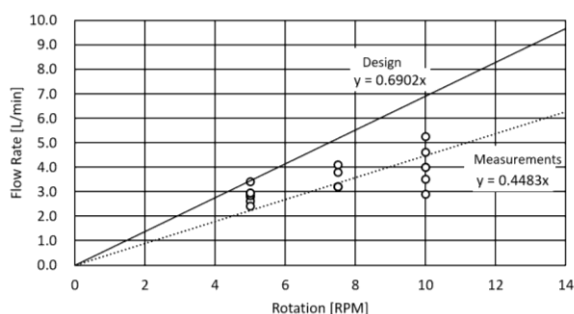


Fig. 5 Results of measurement

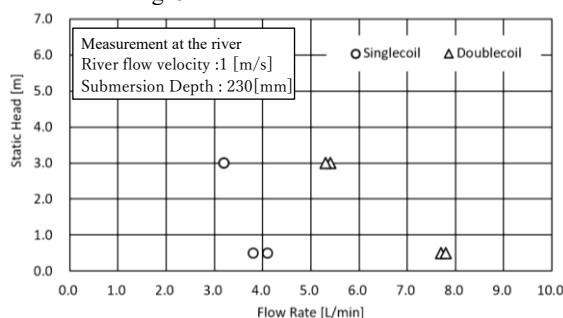


Fig. 6 Single coil and double coil



Fig. 7 View of experiments

ここで、河川における試験結果から効率について推定する。計測していない一部数値については計算値を採用している。その結果を Table 2 に示す。ポンプ効率は 23 [%]となり、文献 2 によるとスパイラルポンプの効率は 29 [%]~45 [%]であり、それらよりは低い結果となった。また周速比は 0.59 であった。

Table 2 Calculation of efficiency

Item	Value	Remarks
Flow rate Q	0.000066 [m ³ /s]	measuring
Rotation Rev	7.5 [rpm]	measuring
Total Head H_T	3.7 [m]	calculation
Pump power P_w	0.0024 [kW]	$=\rho g Q H_T$
Angular velocity ω	0.781 [rad/s]	
Torque of Pump T_{pump}	13.2 [Nm]	equation(10)
Input power P	0.0103 [kW]	$=T_{pump} \omega$
Efficiency η	0.23 -	$=P_w/P$
River flow velocity V_{river}	1.00 [m/s]	measuring
Tip speed ratio λ	0.59 -	

5. インドネシアにおける製作と実測

5.1 概要

実際にポンプを設置する予定のインドネシア東部のスンバ島 (Fig.8) に日本人スタッフ、ボランティアが 2024 年に赴き、現地 NGO と協力して 3 種類のポンプの製作と試験を行った。仕様と外観を Table 3, Fig.9 に示す。

1 号機は、日本で設計し試作したポンプと同等のものをあらかじめ現地で製作し試験設置を行ったもので、これは現地で同様のものが製作可能かどうかの確認が目的である。しかし、試験中に破損したため、我々の訪問時に修理を行い、修理して再度使うということの実践ケースとした。

2 号機は、軽量化を図るため、ホイール径 1.2 [m]の小型ポンプとした。

3 号機は、今後、軽量化や長寿命化を図ることを考え、アルミや塩ビパネルなどでの製作を行うための見本としてアクリル板によるポンプとした。



Fig. 8 Location of Sumba Island

Table 3 Specification of testing pumps

Pump No.	No.1	No.2	No.3
Materials	wood	Wood	Acrylic
Wheel diameter [m]	1.5	1.2	1.5
Paddle: Width × Height [mm]	900 × 225	600 × 225	900 × 225
Hose internal diameter [mm]	25	20	25
No. of turns	10	10	10
Single or Double coil	Double	Double	Double

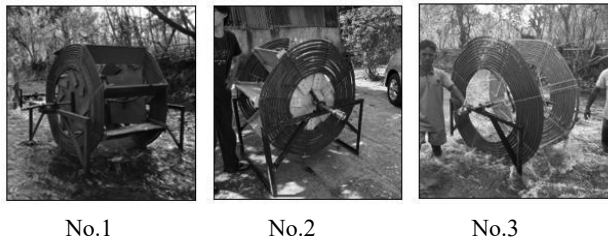


Fig. 9 View of testing pumps

5.2 試運転状況

製作された3種類のポンプを実際の川に設置し、その性能を簡易に測定した。測定場所は市中心街から車で約30分のところにある村である。

測定結果はTable 4のとおりで、アクリル製の3号機は回転が速く、水量も多い。これは、本体材質の違い、つまり木製とアクリル製の摩擦の違いも一因と思われる。計算値の流量と比較すると実測値は30[%]~48[%]となり、国内での計測よりも小さくなった。特に2号機の小型ポンプは、スパイラルコイルのホースサイズが小さいことが影響していると思われる。また、3号機は、回転数が大きいこととスクープの取り付け部に不具合が観察され、そのことが影響して小さくなっていると考えられる。ホースをつないだ時の流量は3台とも大きな差はなかったが、これはホース経路の抵抗が大きくなったため水量の差が小さくなったと考えられる。今後は、スパイラルコイルのホースサイズやスクープの形状など効率を向上する対策も必要である。

Table 4 Testing results 1

Pump No.	No.1	No.2	No.3
River Depth [mm]	400		
Submersion Depth [mm]	130	200	200
Rotation [/min]	14.1	14.8	18.7
Flow rate [L/min] (at Pump outlet)	7.8	4.1	11.2
Flow rate [L/min] (at 3m height)	4.0	5.0	5.0
Calculation Flow [L/min] (Double coil)	16.4	13.8	25.8
Ratio of measurement and calculation	0.48	0.30	0.43



Fig. 10 View of testing

5.3 フィールドにおける設置状況

現地試験後、2, 3号機が実際の農地に設置されたので利用状況を確認した。給水量等はTable 5のとおりで、製作時の試験より水量が少なかったが、作物を生産できない乾季においても作物が育っており、灌漑施設としての有効性が確認された。

Table 5 Testing results 2

Pump No.	No.2	No.3	Remarks
Rotation [/min]	15	12	
Flow rate [L/min] (at Pump outlet)	3.1	7.5	
Flow rate [L/min] (at 3m height)	none	3.7	Hose Length: 30 [m]



Fig. 11 No.3 pump and the field supplied with water

6. まとめと今後の対応

自然のエネルギーで運転可能な水車駆動式スパイラルポンプの試作と途上国における実運転を行った。計測においては十分な装置と時間が取れず不十分であったことは否めないが、スパイラルポンプの有効性を確認することができた。24時間燃料を必要とせずに運転ができることを考えると多少の効率の低さも許容できるであろう。したがって今回試験したホイール直径が1.2[m]のタイプ(2号機)も十分使用可能であり、軽量なので移動が行いやすいため、今後は、このサイズを標準にして、畑のサイズによってポンプ台数で調整することとするのがよさそうである。雨季の河川の流量が増大したときの装置へのダメージを防ぐため、川から引き上げて保護することを現地では行っている。増水によって破損にくいような設計にするのが理想であるが、移動するほうが製造コストを考慮すれば現実的であり、そのためには軽量化が有効である。今後製作していくポンプの形状と仕様はTable 6のとおりである。

る。Fig.12, 13, 14 に予想性能図、製作図及び製作中の写真を載せる。

今後は、以下の点を考慮した開発を行っていきたい。

- ・軽量化：ホイール直径 1.2 [m] 程度で、一人でも移動可能なサイズ・重量を考慮する

- ・低コスト：現地で調達できる低コストの材料の選定

- ・長寿命：腐食や強度が十分で壊れにくい材料の選定

このようなポンプを供給することによって、途上国における水問題の解決、ひいては貧困の解消につながれば幸いである。

Table 6 Specification of assumed standard pump

Wheel Diameter	1.2 [m]
Coil hose internal diameter	25 [mm], 10 [turns]
Paddle width and height	600 [mm] × 225 [mm]
Total head	7.5 [m]
Flow rate	3 [L/min](Double coils)
River flow velocity	1 [m/s]

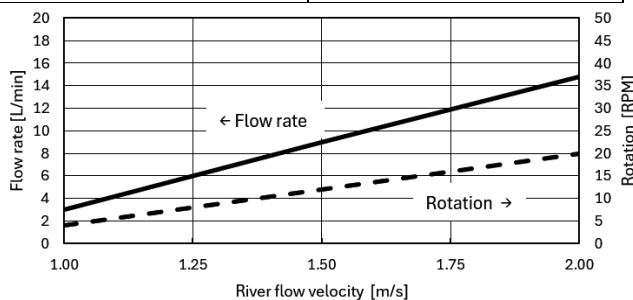


Fig. 12 Standard pump performance

謝辞

本装置の製作試験、現地との調整などにあたって、芝浦工業大学、東京理科大学の学生諸氏、認定 NP0 法人地球の友と歩む会の職員・会員、ツアー参加者、現地 NP0 法人の職員など多くの方からの協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) aQysta Hydro-powered pumps, (accessed May.21 2026), <https://www.aqysta.com/hydropowered-pumps>
- 2) Peter Tailer, The Spiral Pump A High Lift, Slow Turning Pump, 1990, (accessed May.21 2026), <https://lurkertech.com/water/pump/tailer/>
- 3) J Quiroga, Coil pump design as an object of meaningful learning, Journal of Physics, Conf. Series 1161 (2019) 012027, doi:10.1088/1742-6596/1161/1/012027
- 4) 森田泰司, 流体の力学計算法, 東京電機大学出版局 (2009)
- 5) 佐々木壮一, 下掛け式開放周流形水車の出力特性に関する実験的研究, 長崎大学工学研究報告, 第 48 巻, 第 91 号 (2018)

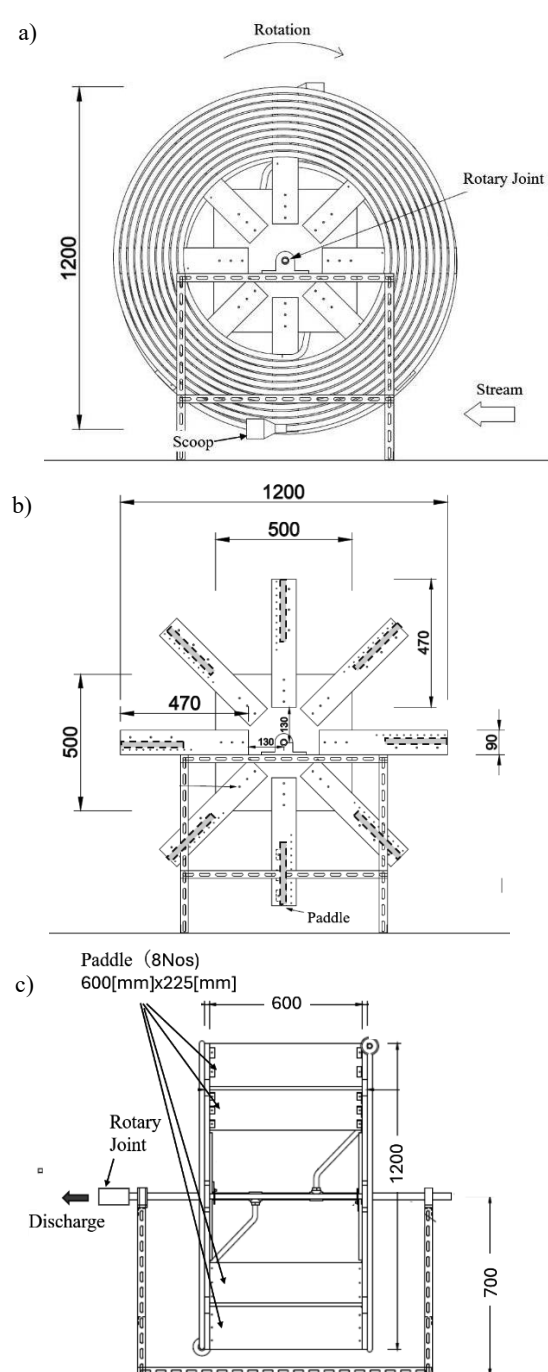


Fig. 13 Standard pump drawings



Fig. 14 Photo during manufacturing pump