

エチオピア農村部におけるマイクロオープンクロスフロー水車の試作および評価

2016SC065 西部隆 2016SC096 渡邊元

指導教員：藤井勝之

1 はじめに

20世紀を境に、電力は世界中の多くの人々が利用できるほど普及した。一方で、文献 [1] ではアフリカのおおよそ南部を除くサブサハラ全域が地理的・経済的問題などにより低い電化率となっている。こうした状況を受け、本研究ではエチオピア西部オロミヤ州ジンマ県の農村部を対象として、現地の人々が自作、修理可能である雨水を利用したマイクロ水力発電の開発に取り組む。また、現地の人々が水車の構造や仕組み、発電に関する知識を取得し、自ら水力発電を管理できるようにマニュアルを作製することを最終到達目標とする。本研究では、現地の環境、気候および生活様式に適した水車の試作と評価を行った。

2 技術課題

電力の普及が世界中で進む中、サハラ以南のアフリカでは衛生面や資本の不足、貧困、初等教育の就学率は男女共に約 60% である [4]。これらは低い水準にあり、電化率も同様に低い。サブ・サハラアフリカでの都市部電化率は 63%、地方では 19% であり全体としてみれば 35% である。JICA[1] によれば、表 1 に示すように周辺国と比べエチオピアの未電化率は 70% 以上と高く、エチオピアで電力を使用できない人口は 70 万人に上る。また図 1 はエチオピアの電力インフラの分布図である。図 1 の西側に位置する研究対象のオロミヤ州ジンマ県は送電線が通っておらず未電化状態であることがわかる。未電化率解決のために、エチオピア農村部を対象として、エチオピアの雨季を利用した雨水を使う水力発電を進めていく。本研究では電力不足による夜間の行動制限を解消するために、ライト点灯に使用する充電池「enloop pro」[8] 一本を充電可能な水車を開発することを目標とする。

3 自然エネルギー発電

近代、地球温暖化による気候変動と化石燃料の枯渇は緊急の課題となっており、自然エネルギーを用いた発電開発が盛んに行われてきた。自然エネルギーは太陽から地上へ降り注ぐ光である太陽光、地球そのものが持つ地熱、風力、水力などに分類される。本研究では以下のエチオピアの気候情報より水力発電を選択した。図 2 は 2016 年 09:00 時点でのジンマ県での降水量を表したものである。エチオピアの気候は乾燥期と雨季の二つに分類される。一般的に 7、8 月を中心に雨季を持ち降水確率は 90% である。研究対象地域では住宅の屋根から雨どいを経由し、雨水を溜めて生活用水として使用する習慣がある。月間降水確率より

表 1 サブサハラ・アフリカ諸国未電化率 [1]

国	未電化率 [%]
エチオピア	70
スーダン	24
南スーダン	11
ウガンダ	31
ケニア	35
ソマリア	9
エリトリア	4
エジプト	1 以下
タンザニア	36
ルワンダ	10

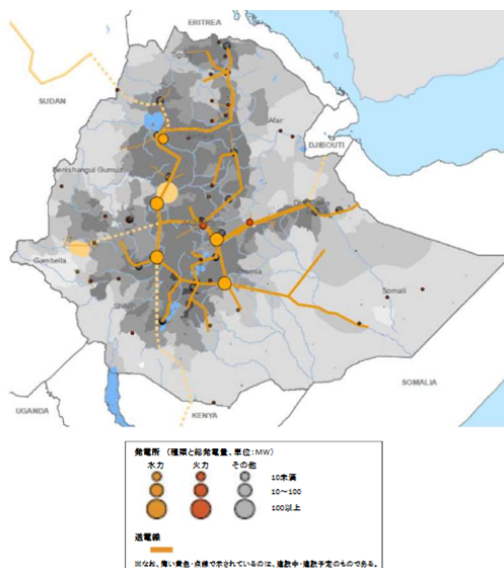


図 1 エチオピアの電力分布図 [1]

日中は年間日数の約 40% 以上が雲で覆われており、太陽光発電の利用率は低い。図 3 はエチオピア全域の風速を示したものである。風力発電を行うための必要最適風速は 3.0m/s 以上であり、最適風速に適する分布地はエチオピア北部のみである。本研究対象地はオロミヤ州ジンマ県であり西部に位置するため風力発電に適していない。

4 水車の選定

水車の種類は、水車選定図から流量・落差を考慮して選定される。加えて設置する場所や環境にも合わせて選ばなければならない。マイクロ水力発電では導水路・パイプ・水車内部でのゴミの詰まりが大きな問題となるためであ

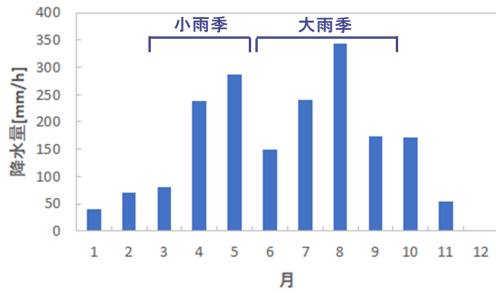


図2 2016年ジンマ県9:00時点の降水量 [3]

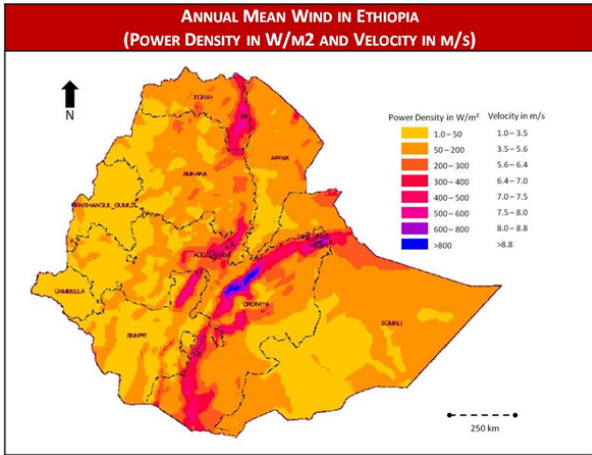


図3 エチオピアの風速分布 [2]

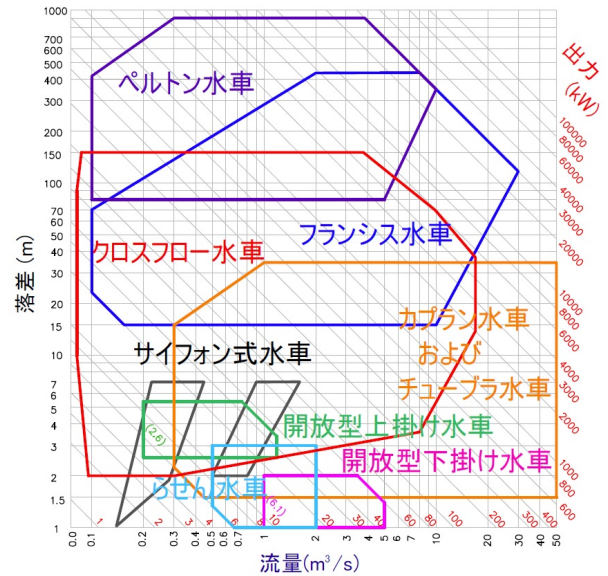


図4 水車選定図 [6]

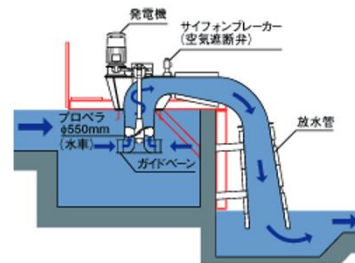


図5 サイフォン式水車 [6]

る。したがって流量・落差を考慮し水車選定図を用いた出力面、メンテナンスなどの水車の特性面の二点から水車の選定を行う。流量と落差を用いて水車を選定する場合、これに該当する水車はない。現状、低落差・低流量でのマイクロ水力発電の開発は進んでいないからである。図4の選定図での、低落差・低流量に該当する水車を以下で述べる。

4.1 サイフォン式水車

堰という河川の水をせき止めるダムのようなものから水を吸い上げ、ランナを回す構造を持つ。サイフォンの原理は管をつないだ2カ所のあいだで、圧力によって液体が低い位置から高い位置へ流れる現象である。小水力発電でも落差の小さい水流を効率よく取り入れる方法として利用することができる。しかし研究対象地域ではダムは存在しないためこの型は除外される。

4.2 クロスフロー水車

文献 [5] より、シロッコファンに似た形状のランナと呼ばれる回転部とガイドベーンと呼ばれるランナは流れこむ水量の調節弁からなる簡単な構造を持つ。水流はいったんランナの内側に入り中心部を横切り再びランナの外部へ出る貫通式であり、二回にわたりエネルギーがランナに与えられるため高い効率を得る。また構成部品が少なく、構造が簡単である。小～マイクロ水力に適しているといわれる

が、強度を確保することが難しいなどのデメリットがある。

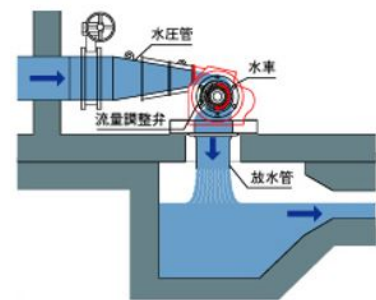


図6 クロスフロー水車 [6]

4.3 上掛け水車

文献 [5] より、開放型の水車で、水力利用では最も古い形態の水車である。ポケットに水を溜めることで水自体の重さや水量と落差を利用する。回転数がきわめて少なく、発電機との接続では増速が必要な場合もある。クロスフロー水車と同様に構成部品が少なく、構造が簡単である。

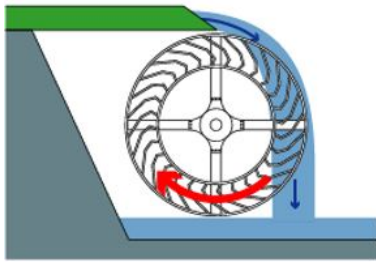


図 7 上掛け水車 [6]

4.4 型の決定

ダムのような貯水所が無い場合サイフォン式水車は除外される。文献 [7] よりクロスフロー水車の最大水車効率は上掛け水車に比べ約 1/3 高い。したがって本研究ではクロスフロー水車を試作する。

5 水車の製作

研究対象地域では、屋根から雨どいを伝い直接ドラム缶に注ぐことで降雨日に水を貯めている。研究対象地域の暮らしを大きく変更せず、かつ発電を行うためには図 8 の形態とする必要がある。したがって 4 節で述べた各水車型の特性および水車の設置形態を考慮した場合、水車型はクロスフロー水車が最も好ましい。本研究では文献 [7] をモデルに水車を作製していく。

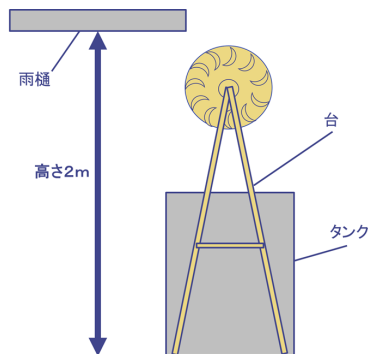


図 8 実装例

5.1 寸法決定

水車の設置が想定される農村部民家に設置されている雨どいの幅は 10mm であり、雨どいの幅に合わせて水車の寸法を変更した。図 9, 10 より本研究ではタービン外径 D とタービン幅 B を共に 100mm、羽根コード長 C を 16mm に変更しており、アクリルのみで作ることで軽量化を図っている。重量はモーターを含めて 138.8g であった。作製した水車の様子は図 11 となる。

5.2 モーター詳細

タービンに接続するモーター (DIY キット小型モーター縦型風力タービン) の仕様を以下に示す。定格電力:

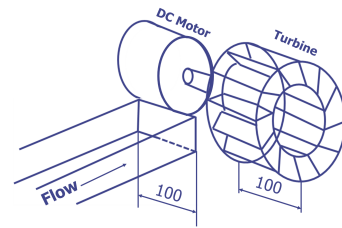


図 9 水路モデル

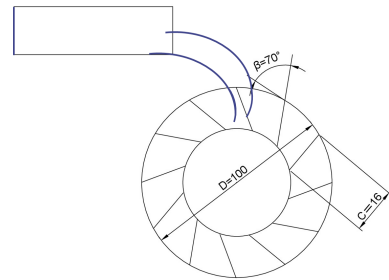


図 10 水車モデル

表 2 水車寸法

外径 D	100mm
幅 B	100mm
羽根角度 β	70°
羽根枚数 Z	12 枚
羽根曲率 ϕ	直線
羽根コード長 C	16mm

0.55W, 出力電圧: 0.01-5.5V, 出力電流: 0.01-100mA, 定格速度: 100-6000rpm となる。

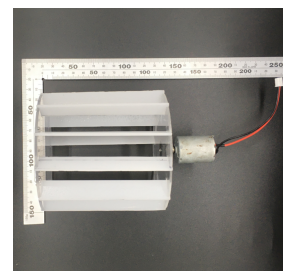


図 11 モーターを接続した水車

6 性能評価

水車取り付け位置は水路端を基準として下向きに H [mm], 基準の右方向を正とする場合に水路端から水車の左端までの長さ L [mm] とする。取り付け位置測定では文献 [7] で最も良好な水車特性を示した $L = -30$ と各位置 $L = -95$ および $L = +50$, $H = 10$ mm で固定した。水路に放出する流量は蛇口で調節し、流量計により測定を行った。各流量での回転数の関係を見る。また図 12 のような負荷 10Ω 回路において各流量での電圧および電気抵

抗による回転数の低下様子を測定した。

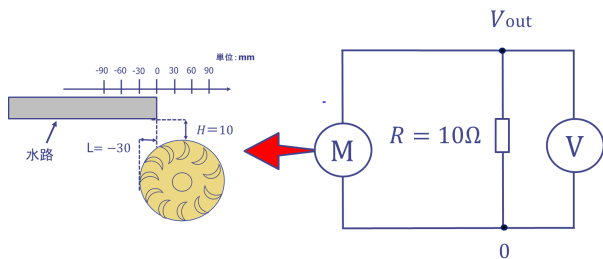


図 12 測定全体図

7 結果および考察

回路内の抵抗による回転数降下率をみるため開放および 10Ω の負荷を加えた状態でのグラフを図 13 に示す。回転数の最大降下率は 22.3% となった。また、 10Ω の負荷を加えた状態での平均電圧と回転数のグラフを図 14 に示す。このグラフでの最大平均電圧は 132mV であった。よって最大の平均電力は 1.74mW, 最大の平均電流は 1.32mA である。また使用する充電電池「eneloop pro」に充電を試みる場合、最大平均電圧が充電電池の交渉電圧 1.2V を超えていないため充電が出来ない結果となった。

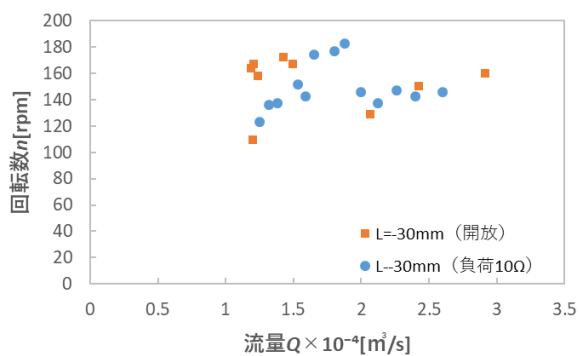


図 13 開放及び負荷状態の回転数比較

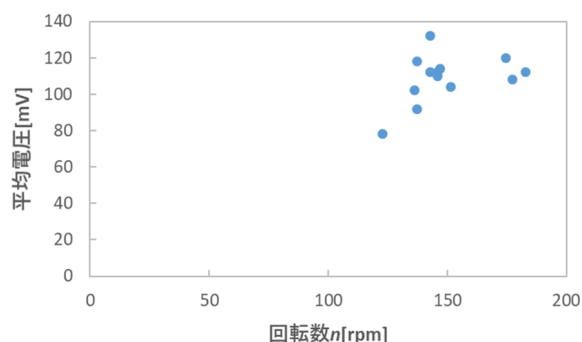


図 14 回転数と平均電圧の関係

8 終わりに

6 節では水車の性能を観測するために実際の実装想定落差 2m と異なり、また各家庭での屋根面積や雨どいの長さが異なるので、雨どいから放出される流量および流速が求められないことから参照した文献 [7] の実験法をモデルした。そのため現地で本水車を設置した場合に得る回転数が不明であるので今後はさらに実装想定に近づけた落差および流量での測定が求められる。充電を行なうためには、モーターの回転数と発電量の関係を計測した後、発電量が良好な回転数に水車の回転数を近づけるために、増速ギア・ベルトを接続して公称電圧 1.2V を超える必要がある。

謝辞

本研究を行うに当たり、現地調査を行って下さり、情報提供をしてくださった本学国際教養学部の吉田早悠里准教授に謝意を表します。

参考文献

- [1] 上石 博人, “JICA によるアフリカ電力開発支援,” 独立行政法人国際協力機構 (JICA) 産業開発・公共政策部, http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/global_energy/pdf/003_04_00.pdf, 参照日 Sep. 18, 2019.
- [2] “エチオピア,” 農林水産省, http://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/nousui_bunya/pdf/syoku_nihongo3.pdf, 参照日 Sep. 18, 2019.
- [3] “NMA,” http://www.ethiomet.sov.et/stations/resiond_information/4, 参照日 Sep. 18, 2019.
- [4] “途上国における ECD の現状と課題：サハラ以南アフリカを中心に,” 独立行政法人国際協力機構 (JICA), https://www.jica.go.jp/jica-ri/IFIC_and_JBICI-Studies/jica-ri/publication/archives/jica/kyakuin/pdf/200408_02_03.pdf, 参照日 Sep. 18, 2019.
- [5] 新井正巳 他, “小水力エネルギー読本,” 小水力利用推進協議会 (編), オーム社, 東京, 2006.
- [6] 日本小水力発電株式会社, “商品紹介,” <http://www.smallhydro.co.jp/products/suisya.html>, 参照日 Sep. 18, 2019.
- [7] 本橋元, 後藤誠, 丹省一, 荒木良廣, “極低落差向けマイクロ水力用タービンの開発,” <http://www2.lib.yamagata-u.ac.jp/you-campus/tsuruoka/kiyou-tsuruoka/39/p5-8.pdf>, Sep. 30, 2004.
- [8] パナソニック株式会社, “エネルギー/充電式エボルタ,” <https://panasonic.jp/battery/products/charge/eneloop.html>, 参照日 Sep. 18, 2019.