

技術報告書

DLDAPPシステムの計算および設計

1. はじめに

DLDAPPシステム (*Duo Leveraged Double Acting Piston Pump*、デュオ・レバレッジ式複動ピストンポンプ) は、水圧工学分野における革新的かつ破壊的な技術であり、高いエネルギー効率、優れた機械的堅牢性、および持続可能な運転性能を追求して設計されました。

本システムは、*PMTHPP (Pumped Multiple Turbines Hydroelectric Power Plant)* プロジェクトに統合されることを前提に開発されたものであり、大量の水を高圧下で効率よく輸送する中核コンポーネントとして機能します。その結果、従来のポンピング方式と比較して、消費エネルギーを大幅に削減することが可能となります。

本技術は、「てこ（レバレッジ）」と「可動滑車（動滑車）」という2つの機械的原理を戦略的に融合することで、ピストンの駆動効率を最大限に高めています。この構成により、流量や水圧の安定性を維持したまま、必要な作動力を大幅に低減できます。従来の技術文献で記載されているシステムとは異なり、DLDAPPは地中から上部貯水池まで約109,5メートルの垂直距離を持つ「ウォーター・チェンバー（垂直型貯水槽）」に水をポンピングします。この構造により、重力による位置エネルギーと蓄積された水圧エネルギーを最大限に活用し、極めて高効率な閉ループ型エネルギー回路を形成します。

本報告書では、DLDAPPシステムの物理的基盤、性能計算、技術的構造、ならびに再生可能エネルギー分野における戦略的利点について詳細に解説し、その技術的優位性を明らかにします。

2. システムの目的

DDL DAPPシステム（デュオ・レバレッジ式複動ピストンポンプ）は、大量の水を高圧下で連続的に輸送するための、高効率かつ革新的なソリューションを提供することを目的として開発されました。本システムは、PMTHPPプロジェクトにおける厳格な運用要件を満たすように設計されています。

以下に、本システムの主要な目的を示します：

1. 送水プロセスにおけるエネルギー効率の最大化

機械的レバレッジと可動滑車の併用により、必要な作動力を大幅に削減し、ポンピングにかかる消費電力を抑制します。

2. 100メートルを超える高低差の安全・安定な克服

システムは、高い機械的信頼性を確保しつつ、上部貯水池への水輸送を確実に実現します。

3. 水力的および機械的損失の最小化

従来のポンプシステムで見られる主要な非効率性を排除した設計により、流体抵抗やエネルギーロスを最小限に抑えます。

4. 外部エネルギーに依存しない自立的な運転の実現

PMTHPPの閉ループ構成に完全に統合されており、自己完結型のエネルギー循環を可能とします。

5. 既存の文献にない革新的アプローチの技術的実証

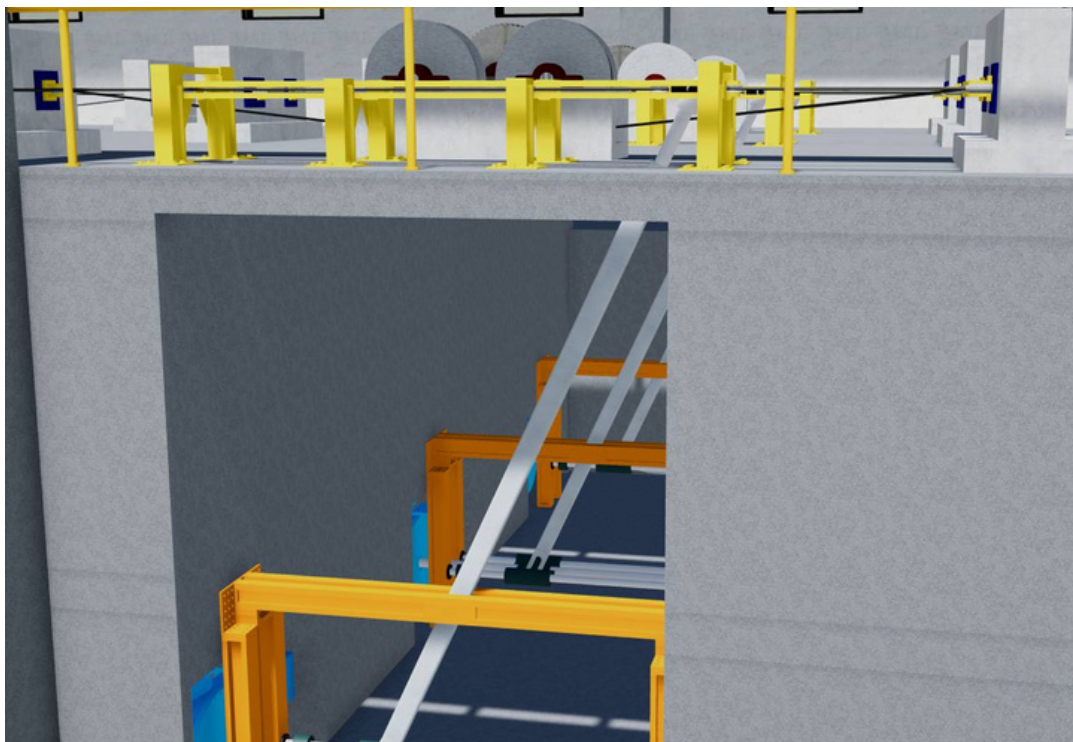
従来技術に依存しない破壊的ソリューションを提示し、低環境負荷での再生可能水力エネルギーの大規模活用の可能性を拡大します。

3. 基本原理と動作

DLDAPPシステムは、従来のポンピング技術の限界を打破するために、古典的な機械工学および流体力学の原理を革新的に応用したものであり、水圧輸送における新たな基準を打ち立てる設計となっています。

3.1 動作原理

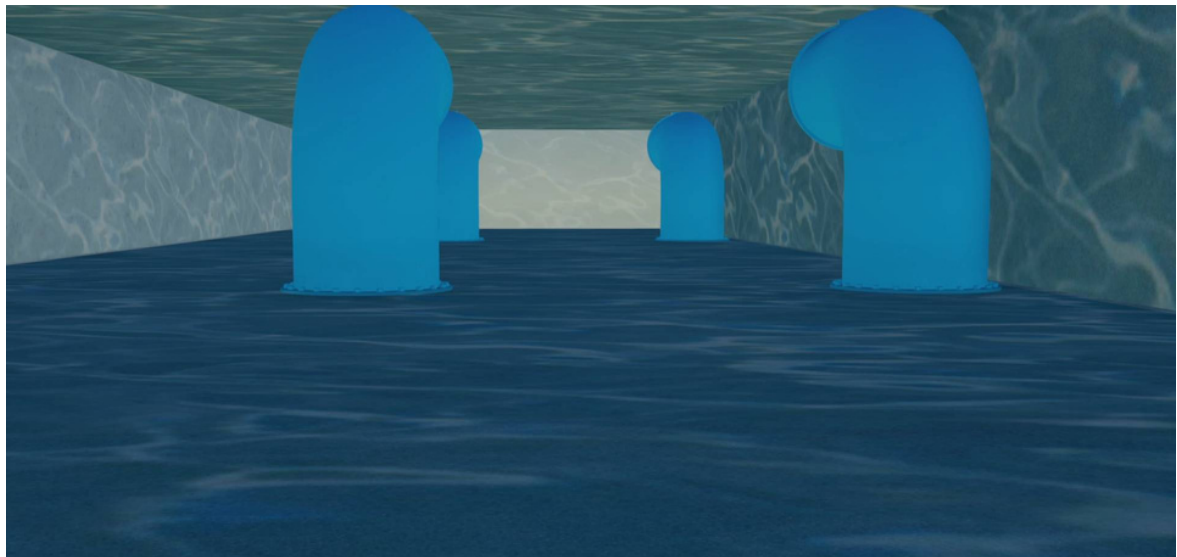
DLDAPPは、機械式で可動滑車によって駆動される複動型ピストンポンプのユニットで構成されています。この構成により、ピストンの往復運動が両方向への送水を可能とし、単動型ポンプと比較して容積効率を実質的に2倍に向上させます。また、この機構には機械的伝達比 $i \approx 2.76$ が設定されており、ピストンを駆動するのに必要な力を大幅に軽減しています。加えて、動滑車の導入により負荷が分散され、必要作動力がさらに低減されます。これにより、全体として機械的効率が最適化される設計となっています。



3.2 垂直型貯水槽（ウォーター・チェンバー）

DLDAPPシステムの中核的構成要素のひとつが、垂直型の　　ウォーター・チェンバーです。この構造は、地中から上部貯水池までの約109,5メートルにわたり垂直に延びるもので、加圧された水路として機能します。

この貯水槽は、重力による位置エネルギーを蓄積する役割を担い、水が上部に貯留されることで、以降の発電プロセスにおいて極めて高効率なエネルギー変換が可能になります。



3.3 統合型水力サイクル

ポンプによってウォーター・チェンバーに送られた水は、PMTHPP システム内のフランシス水車およびペルトン水車へと供給されます。この際、水に蓄えられた位置エネルギーは運動エネルギーに変換され、さらに機械エネルギーとして回収されます。

このサイクルは閉ループ型エネルギー回路として設計されており、ポンピングに使用されたエネルギーはシステム内で再利用されます。結果として、運用の持続可能性と総合的効率性が最大化されることになります。

4. 計算と設計

DLDAPPシステムの設計は、必要な流量、揚程（ポンプでくみ上げる高さ）、およびシステムのエネルギー効率を考慮した特定の運用パラメータに基づいて行われました。

4.1 垂直貯水槽（水室）の底部における圧力

$$H = 109,5m$$

$$\rho = 1000kg/m^3$$

$$g = 9,81m/s^2$$

$$P = \rho \times g \times H$$

$$P = 1000 \times 9,81 \times 109,5$$

$$P = 1.074.195Pa$$

$$P = 10,74bar$$

4.2 ピストン1回の往復による変位面積と体積

$$r = 0,5m$$

$$d = 1m$$

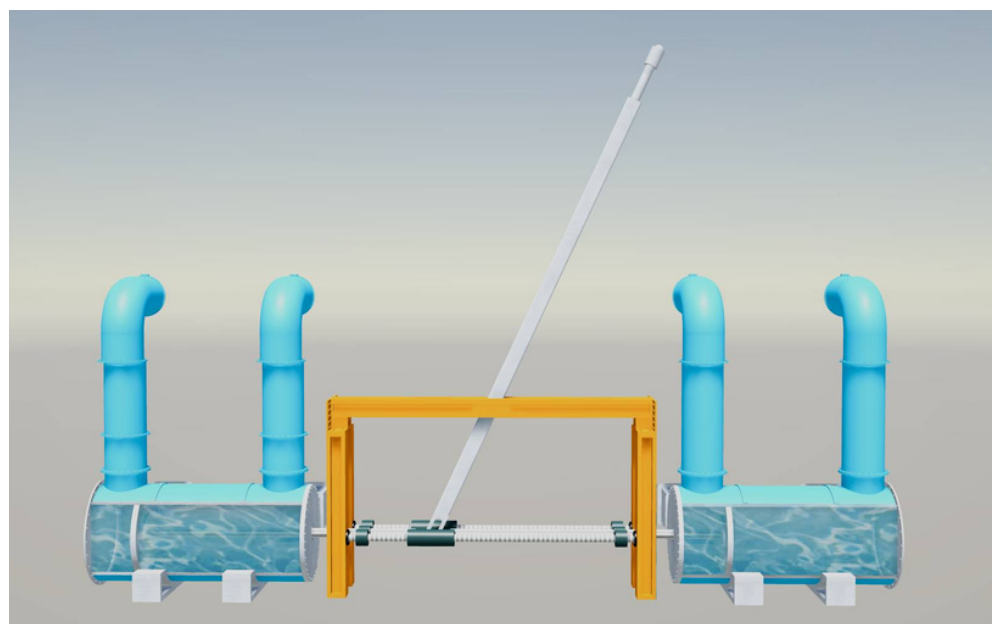
$$A = 0,7854m^2$$

$$V = 1m^3$$

$$V = A \times L$$

$$L = \frac{1}{0,7854}$$

$$L = 1,273m$$



4.3 ピストンごとに必要な力

$$P = 1.074.195Pa$$

$$A = 0,7854m^2$$

$$F = P \times A$$

$$F = 1.074.195 \times 0.7854$$

$$F = 843.672N$$

$$F = 86,01kgf$$

4.4 てこと可動滑車による力の低減

本システムは2つのピストンが同時に動作する構成となっており、各ピストンの出力は合算され、全体として高い吐出能力を実現しています。

$$F = 843.672N$$

$$\text{総必要力（合計）} = F_t = 2 \times F$$

$$F_t = 1.687.345N$$

$$i = 2,76$$

$$F_r = \frac{F_t}{i}$$

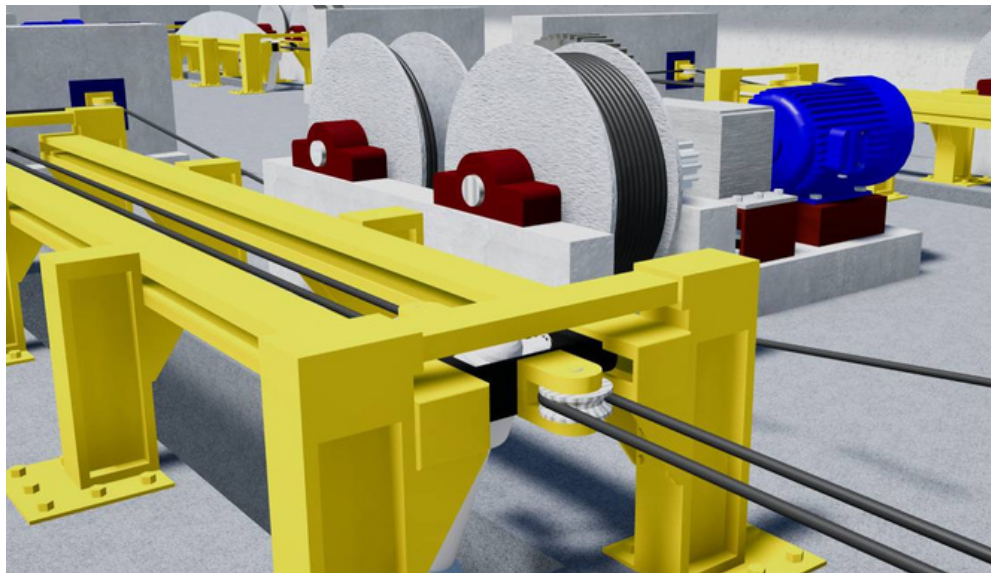
$$F_r = \frac{1.687.345}{2.76}$$

$$F_r = 611.357N$$

$$F_f = \frac{611.357}{2}$$

$$F_f = 305.678N$$

$$F_f = 31,17kgf$$



5. ポンプシステムに必要な動力の計算

DLDAPP (Duo Leveraged Double Acting Piston Pump)

システムにおける水圧ピストンの作動には、高効率の機械的伝達を実現するために、力を増幅するように設計されたリンク式でこの機構が採用されています。この上部アームは、1回のポンピングサイクルあたり3.76メートルの直線運動を行います。

システムは可動滑車（動滑車）を用いて力を分散・増幅しているため、ドラムに巻き取られるワイヤーロープ（鋼索）の有効長さは7.52メートル、つまりこのアームの移動距離の2倍となります。この寸法設計により、ピストンが両方向に完全に作動することが保証されます。

5.1. ドラムの寸法設計

この上部アームが3.76メートル移動するために、鋼索を巻き取るドラムが使用されます。

$$r = \text{半径} \quad r = 0,4m$$

$$D = \text{直径} \quad D = 0,8m$$

$$C = \text{円周} \quad C = 2,513m$$

1サイクルあたり7.52メートルのケーブルを巻き取るために、ドラムが必要とする回転数は以下の式で求められます：

$$N = \frac{7,52}{2,513} = 2,99 \text{ 回転} \quad \text{または} \quad f = 3Hz$$

5.2. 動力伝達と歯車装置

ドラムで毎秒3回転という要件を満たすために、三相誘導モーター（4極・定格回転数1800rpm）を使用した歯車システムが採用されました。

このモーターは、直径0.9メートル・回転数30rpmのセクター型中間ギア（半円形ギア）に動力を伝達します。

そこから、動力はドラムに取り付けられた小型ギアに伝達され、このギアは180rpmで回転し、毎秒3回転の動作要件を満たします。

半円形ギア

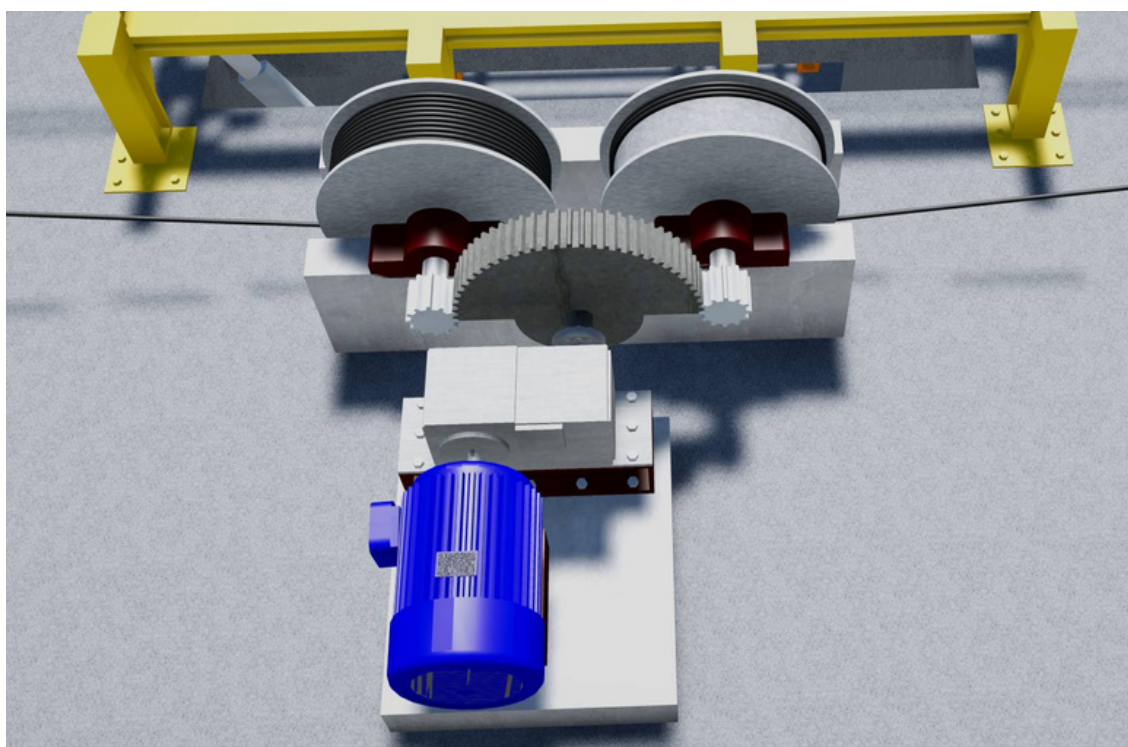
$D = \text{直径 } D = 0,9m$

$N_{mot} = \text{回転数 } 30rpm$

小型ギア

$N_{mov} = \text{回転数 } 180rpm$

$$\frac{N_{mot}}{N_{mov}} = \frac{D_{mov}}{D_{mot}} \quad \frac{30}{180} = \frac{D_{mov}}{0.9} \quad D_{mov} = 0,15m$$



5.3. ドラムにおけるトルクの計算

$$F_f = 305.678N$$

$$r = 0,4m$$

$$f = 3Hz$$

$$\pi = 3,14$$

$$T = F \times r$$

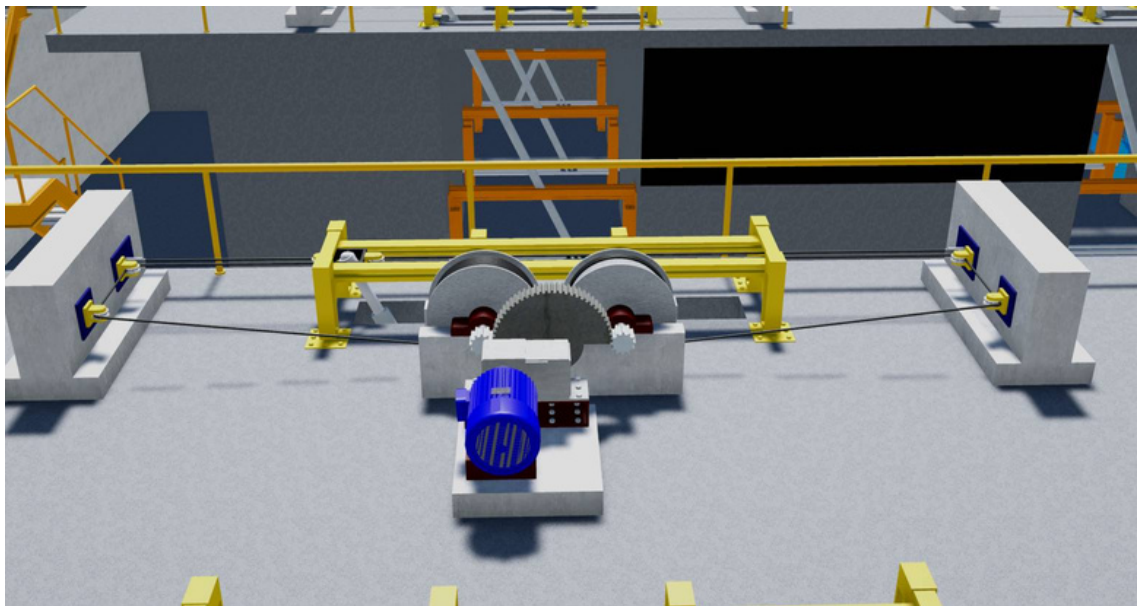
$$T = 305.678 \times 0,4$$

$$T = 122.271Nm$$

$$\omega = 2\pi \times f$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 3$$

$$\omega = 18,84rad/s$$



5.4. 各ポンプユニットに必要な動力の計算

各DLDAPPユニットの動作に必要な動力は、ピストンに加わる力、ピストンのストローク長、1秒あたりの作動回数（動作周波数）に基づいて算出されます。この計算には、機械的効率、摩擦損失、およびシステム内の負荷分散も考慮されます。

$$T = 122.271 Nm$$

$$\omega = 18,84 rad/s$$

$$\eta = 0,83$$

$$P = T \times \omega$$

$$P = 122.271 \times 18,84$$

$$P = 2.303.593 W$$

$$P_f = \frac{P}{\eta}$$

$$P_f = \frac{2.303.593}{0,83}$$

$$P_f = 2.775.413 W$$

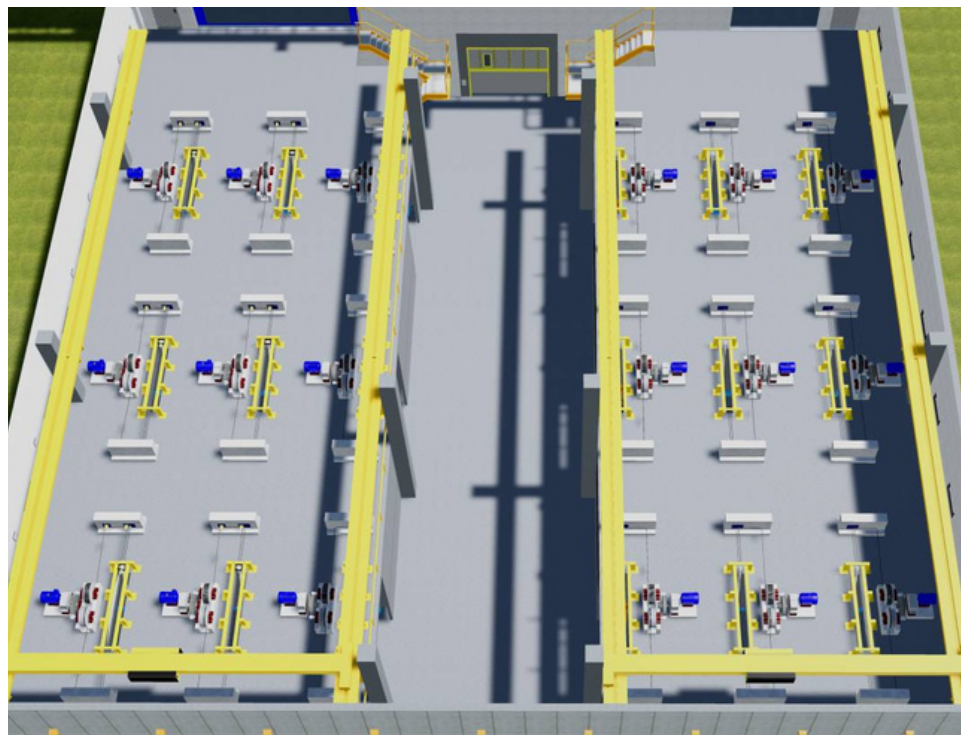
本システムは18台のポンピングユニットが同時に作動する構成となっているため、必要な総動力は次のように求められます：

$$P_t = 18 \times P_f$$

$$P_t = 18 \times 2.775.413$$

$$P_t = 49.957.438 W$$

$$P_t = 49.957,4 KW$$



6. PMTHPPシステムのエネルギーバランス

PMTHPPシステムは、フランシス水車とペルトン水車の統合構成、 および閉ループのDLDAPPポンプ回路によって運用され、エネルギー自給自足を確保しつつ、大幅な正味出力の余剰を実現しています。

システム全体の発電量は、両水車の出力の合計です：

$$P_{Pelton} = 29.449KW$$

$$P_{Francis} = 26.146, 2KW$$

$$P_{Total} = 29.449 + 26.146, 2$$

$$P_{Total} = 55.595, 2KW$$

18基のDLDAPPポンプユニットによる連続運転時の総消費電力は次のとおりです：

$$P_{Pump} = 49.957, 4KW$$

利用可能な正味出力：

$$P_{Net} = P_{Total} - P_{Pump}$$

$$P_{Net} = 55.595, 2 - 49.957, 4$$

$$P_{Net} = 5.637, 8KW$$

本システムは、5.637,8KWの出力余剰で稼働しており、高いエネルギー効率と運用上の実現可能性を示しています。

水車によって生成された電力は、ポンプの消費を完全に補うだけでなく、外部供給や販売に適した正味出力を提供し、外部エネルギーに依存せず自己完結的に運用可能なシステムを実現しています。

結論 – DLDAPPシステムと水圧ポンプ

本報告書では、PMTHPP (Pumped Multiple Turbines Hydroelectric Power Plant)の中核コンポーネントとして機能するDLDAPP (Duo Leveraged Double Acting Piston Pump) システムについて、その構造、動作原理、設計計算を詳細に検討しました。

従来の回転動力型ポンプとは異なり、本システムは機械的に駆動される複動ピストンに加え、てこ機構および可動滑車を組み合わせることで、ピストン駆動に必要な作動力を大幅に低減しつつ、高い吐出性能と運転安定性を両立させています。

設計および計算では、静水圧、ピストン面積、容積変位、トルク、ドラム回転動力など、実際の運転条件に即した物理パラメータを用いて評価を行いました。その結果、深度のある高負荷条件下でもシステムは安定して作動し、高いエネルギー効率と運転持続性が実現可能であることが確認されました。

さらに、機械的減速装置の導入によって各ポンプユニットへの負荷が分散され、一般的な電動モーターによる駆動が現実的であることも実証されました。

DLDAPPシステムは、従来のポンプ技術に依存することなく、堅牢で高効率な送水ソリューションを構築可能であり、PMTHPPのような閉ループ型プロジェクトにおいて特に有効です。水圧の制御と圧力の再利用を通じて、システム全体のエネルギー収支と環境持続性に大きく貢献する技術基盤となります。

本技術は、次世代の再生可能エネルギーシステムにおける新たな基準となる可能性を秘めており、今後の社会的・産業的応用に向けたさらなる展開が期待されます。

。