

本文目次

略語一覧.....	II-2
1. 調査の背景	II-3
(1)ホスト国の JCM に対する考え方.....	II-3
(2)企画立案の経緯・背景.....	II-3
2. 調査対象プロジェクト	II-7
(1)プロジェクトの概要.....	II-7
(2)ホスト国における状況.....	II-12
(3)プロジェクトの普及.....	II-13
3. 調査の方法	II-15
(1)調査実施体制.....	II-15
(2)調査課題.....	II-16
(3)調査内容.....	II-17
4. プロジェクト実現に向けた調査	II-21
(1)プロジェクト計画.....	II-21
(2)プロジェクト許認可取得.....	II-34
(3)日本技術の優位性.....	II-35
(4)MRV 体制.....	II-41
(5)ホスト国の環境十全性の確保と持続可能な開発への寄与.....	II-44
(6)今後の予定及び課題.....	II-46
5. JCM 方法論作成に関する調査	II-48
(1)適格性要件.....	II-48
(2)リファレンス排出量の設定と算定、およびプロジェクト排出量の算定.....	II-53
(3)プロジェクト実施前の設定値.....	II-66
6. JCM プロジェクト設計書(PDD)の作成に関する調査	II-69
(1)環境影響評価.....	II-69
(2)現地利害関係者協議.....	II-69
(3)モニタリング計画.....	II-71
(4)計測機器の校正.....	II-74

略語一覧

略語	英語表記	日本語
AFD	Agence Française de Developpement	フランス開発庁
BAU	Business as Usual	—
CCCSP	Cambodia Climate Change Strategic Plan	気候変動戦略計画
CDM	Clean Development Mechanism	クリーン開発メカニズム
DCF	Discounted Cash Flow	割引キャッシュフロー
DPWT	Department of Public Works and Transport	プノンペン市公共事業運輸局
EDC	Electricité du Cambodge	カンボジア電力公社
GDCE	General Department of Customs and Excise	カ国関税消費税総局
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
GPPWSS	Greater Phnom Penh Water Supply System	—
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
IGES	Institute for Global Environmental Strategies	公益財団法人地球環境戦略研究機関
IRR	Internal Rate of Return	内部収益率
JCM	Joint Credit Mechanism	二国間クレジット制度
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
MEF	Ministry of Economy and Finance	経済財務省
MIH	Ministry of Industry and Handicraft	工業手工芸省
MOE	Ministry of Environment	カ国環境省
MRV	Measurement, Reporting and Verification	温室効果ガス排出量の測定、報告及び検証
NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Action	緩和行動
NPW	Net Present Worth	現在価値
NSDP	National Strategic Development Plan	国家戦略開発計画
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	経済協力開発機構
PE	Permanent Establishment	恒久的施設
PPWSA	Phnom Penh Water Supply Authority	プノンペン水道公社
SPC	Special Purpose Company	特別目的会社
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	国連気候変動枠組条約

1. 調査の背景

(1) ホスト国の JCM に対する考え方

カンボジア王国（以下、「カ国」）1995年の国連気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change、「UNFCCC」）に批准しており、国連開発計画（United Nations Development Programme、「UNDP」）等の支援を受けながら1999年から気候変動対策のプロジェクトを積極的に推進している。これを受けてカ国政府は2014-2023年の気候変動戦略計画（Cambodia Climate Change Strategic Plan、「CCCSP」）を策定し、地球規模で進行している気候変動に対して、炭素クレジットのスキームを活用してクリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism、以下「CDM」）へ積極的に協力していくことを宣言している。

日本とカ国は、2014年4月11日にはプノンペン特別市にて、隈丸優次駐カンボジア大使とサイ・サムオル環境省大臣（H.E. Dr. SAY Samal, Minister of Environment）との間で、二国間クレジット制度（Joint Credit Mechanism、以下「JCM」）に関する二国間文書の署名を行った。双方はこの JCM の活用により、カ国内における温室効果ガス（Greenhouse Gas、以下「GHG」）排出削減に協力することにより、地球規模での温暖化防止に向けた努力に貢献していきたいと考えている。この二国間文書の概要は下記の通りである。

- ① 日・カ国間の低炭素及び持続可能な成長への取組の推進のため、両国は JCM を創設し、JCM を運用するため、合同委員会を設置する。
- ② 双方は JCM の下での排出削減及び吸収量を、国際的に表明した日本の GHG 緩和努力及びカ国として適切な緩和行動（Nationally Appropriate Mitigation Action、「NAMA」）の一部として使用できることを相互に認める。
- ③ JCM の透明性及び真の排出削減を確保し、これを他の国際的な緩和メカニズムには使用しない。

(2) 企画立案の経緯・背景

カ国の水道分野における我が国の協力は1991年の内戦終結直後まで遡る。1993年に政府開発援助（Official Development Assistance、以下「ODA」）にて実施されたプノンペン市上水道のマスタープラン作成から始まり、近年では2012年3月に借款契約を行

ったシェムリアップ上水道拡張工事、また技術協力として2012年11月～2017年10月の期間で水道人材育成プロジェクト・フェーズ3、さらには2013年6月に贈与契約を行ったコンポンチャム及びバットンバン上水道拡張計画など多角的な支援を行っている。表1に近年実施されたカ国水道分野における我が国の主なODAの実績を示す。我が国の水道技術は、安全性や漏水率の低さなどから、世界一の水準であると言われており、ODA等を通じた技術展開によりカ国の水環境改善に大きく貢献している。

表1. 近年実施されたカ国水道分野における我が国の主なODA実績

期間／締結年月	事業形態	案件名
交換公文（E/N）：2001年5月	無償	プンプレック浄水場拡張計画
交換公文（E/N）：2002年6月	無償	プノンペン市周辺村落給水計画（第1期）
交換公文（E/N）：2002年8月	無償	プノンペン市洪水防御・配水改善計画
交換公文（E/N）：2003年6月	無償	プノンペン市周辺村落給水計画（第2期）
協力期間：2003年10月～2006年10月	技術協力	水道事業人材育成プロジェクト
交換公文（E/N）：2004年5月	無償	シェムリアップ上水道整備計画
交換公文（E/N）：2005年6月	無償	コンポンチャム州村落飲料水供給計画（第1期）
交換公文（E/N）：2006年5月	無償	コンポンチャム州村落飲料水供給計画（第2期）
協力期間：2007年5月～2012年3月	技術協力	水道事業人材育成プロジェクト・フェーズ2
借款契約（L/A）調印：2009年3月	有償	ニロート上水道整備事業
贈与契約（G/A）：2009年7月	無償	コンポンチャム州メモット郡村落飲料水供給計画
贈与契約（G/A）：2011年3月	無償	地方州都における配水管回収及び拡張計画
借款契約（L/A）調印：2012年3月	有償	シェムリアップ上水道拡張工事
協力期間：2012年11月～2017年10月	技術協力	水道事業人材育成プロジェクト・フェーズ3
贈与契約（G/A）：2013年6月	無償	コンポンチャム及びバットンバン上水道拡張計画

有償：有償資金協力 無償：無償資金協力 （出典）JICAのサイトより水道分野を抜粋

また、カ国水道事業の発展においては、北九州市上下水道局による技術協力の功績が大きい。北九州市上下水道局は1999年に独立行政法人国際協力機構（Japan International Cooperation Agency、以下「JICA」）の要請に基づき、水道技術の専門家としてプノンペン水道公社（Phnom Penh Water Supply Authority、以下「PPWSA」）に職員を派遣して以来、現在に至るまで技術指導や人材育成に注力している。北九州市上下水道局の指導により、カ国の水道は安全性の向上、水道普及率の向上、漏水率の削減等で大きな成果を上げている。表2に北九州市上下水道局のカ国に対する主な技術協力の実績を示す。

表2. 北九州市上下水道局のカ国に対する主な技術協力の実績

期間	事業名	概要
プノンペン特別市への技術協力		
平成11年度～平成14年度	個別専門家派遣事業	水道施設の運転維持管理のための専門家派遣
平成13年度	小規模開発パートナー事業	配水システムの構築のための専門家派遣及び機材供与
政変15年度～平成18年度	カンボジア国水道事業人材育成プロジェクト	プノンペン水道公社の人材育成
平成19年度	CLAIR 自治体職員協力交流事業	プノンペン水道公社から研修員を受入
地方8都市への技術協力		
平成19年度～平成24年度	カンボジア国水道事業人材育成プロジェクト・フェーズ2	シェムリアップ等8都市における水質分析技術、浄水処理技術、排水施設の維持管理技術の向上
平成24年度～平成29年度	カンボジア国水道事業人材育成プロジェクト・フェーズ3	上記8都市の水道局経営能力の向上、研修生受入、職員派遣
平成25年度～平成26年度	シェムリアップにおける水道施設管理能力の向上事業	JICA 草の根技術協力事業の活用

地方8都市：

シェムリアップ・バタンバン・カンポット・コンポンチャム・コンポントム・シハヌークビル・スパイリエン・プルサット

このような数々の実績を背景に、カ国の水道を管轄する工業手工芸省（Ministry of Industry and Handicraft、以下「MIH」）や PPWSA は日本の技術導入に積極的であり、日本からの技術的・資金的支援に関心を持っている。本調査は一般社団法人海外環境協力センターにより実施された平成25年度アジアの低炭素社会実現のためのJCM大規模案件形成可能性調査事業「カンボジア・プノンペン市におけるJCM案件形成支援事業」にてJCM事業化のポテンシャル案件として考察された浄水場・取水場への省エネ設備・再エネ発電設備導入の具体化案件として位置づけられる。

PPWSA が有するプンプレック浄水場とチャンカーモン浄水場は、いずれも1990年代に建設されており老朽化が進行している。中でも受変電設備やポンプ設備は当時の仕様そのまま使用されており、設備更新の時期が迫っている。一方、カ国は電気料金単価が高く、PPWSA の契約電気料金単価は日本と同水準の約 US\$0.2/kWh である。このため、2011年度の営業費用に占める電気料金の割合が29%に達し、日本の3.6%（北九州市上下水道局 H24年度実績）と比べても非常に高い。PPWSA は設備更新に当たり、本邦の最新省エネ設備による消費電力量の削減提案を求めている。

2. 調査対象プロジェクト

(1) プロジェクトの概要

本プロジェクトは、プノンペン特別市東部のメコン川流域に位置する、PPWSA のプンプレック浄水場、チャンカーモン浄水場を対象とし、既存の設備をインバータ設備等の高効率機器に更新するために調査を実施した。設備更新の対象となる各浄水場の施設概要を表3に示す。

表3. プンプレック浄水場及びチャンカーモン浄水場の概要

	プンプレック浄水場	チャンカーモン浄水場
施設 外観	 出典：PPWSA	
処理 能力	170,000m ³ /日	20,000m ³ /日
日平 均処 理量	144,921m ³ /日	13,586m ³ /日
稼働 開始 年度	フェーズ1：1995年稼働 フェーズ2：2003年稼働	フェーズ1：1995年稼働 フェーズ2：1997年稼働
設備 概要	(1)取水場 取水ポンプ 2,200m ³ /h×21m, 185kW, ×5台 (2)浄水場 凝集沈澱池	(1)取水場 取水ポンプ 440m ³ /h×30m, 55kW×2台 (2)浄水場 高速凝集沈澱池

	急速ろ過池設備 配水ポンプ 2,100m ³ /h×42m, 320kW×4 台 1,050m ³ /h×42m, 180kW×5 台	砂ろ過タンク×8 基 配水ポンプ 600m ³ /h×44m, 110 k W×3 台
特記事項	(1)水需要の増加に伴い、配水ポンプのうち2,100m ³ /h×42m, 320kW のポンプ1台を 3,050m ³ /h×46m, 520kW のポンプへ更新予定。 (2)同様に 1,050m ³ /h×42m,180kW のポンプ1台を 1,650m ³ /h×47m,272kW へ更新予定。 (3)取水場は受変電設備を有さず、浄水場からの電力を受電。	(1)取水場は受変電設備を有さず、浄水場からの電力を受電。

上記浄水場はプノンペン特別市における重要な浄水場であるが、設備の老朽化及び電気料金節減の観点から、高効率機器の導入が望まれている。これに対し、本調査では下記の設備改善案（便宜的に Option 1～5 とする）について調査を実施した。

① プンプレック浄水場におけるプロジェクト概要

1) 配水ポンプインバータ化 (Option 1)

浄水場内では 2014 年 12 月現在 3.3 k V、320kW の高圧ポンプ 4 台（大ポンプ）、3.3 k V、180kW の高圧ポンプ 5 台（小ポンプ）の計 9 台の配水ポンプが運用されている。PPWSA は急増する水需要に対応するため、2015 年 1 月以降に 320 k W の大ポンプ 1 台を 520kW に更新し、さらに 180kW の小ポンプ 1 台を 272 k W に更新する計画である。従って更新される 520kW のポンプ 1 台、272 k W のポンプ 1 台の合計 2 台をインバータ方式に変更し、本ポンプにて吐出圧の自動制御（日本式運転手法）を行うことにより、高効率化しエネルギーを削減する。（図 1 参照）

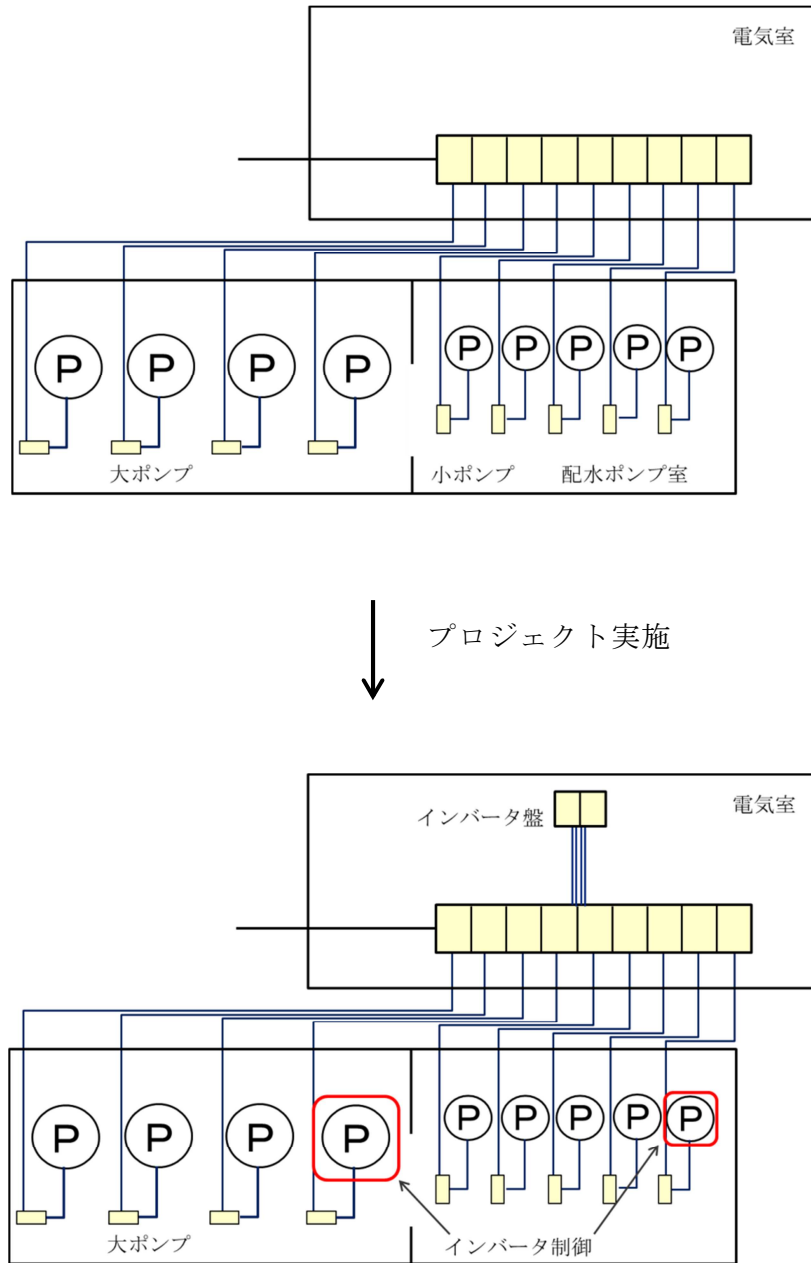


図 1. 配水ポンプインバータ化 (Option 1) 概要

2) 浄水場一取水場間の送電ロス低減 (Option 2)

本浄水場では、22kVで受電した電力を変圧器で3.3kVに降圧し、約1.3km離れた取水場に送電しているため、 $0.187\Omega/\text{km}$ のケーブルインピーダンス（抵抗値）分のロスが発生している。このロスを低減するため、取水場に新たに受電設備及び変圧器を設置し、22kVで直接受電に変更を行う。（図2参照）

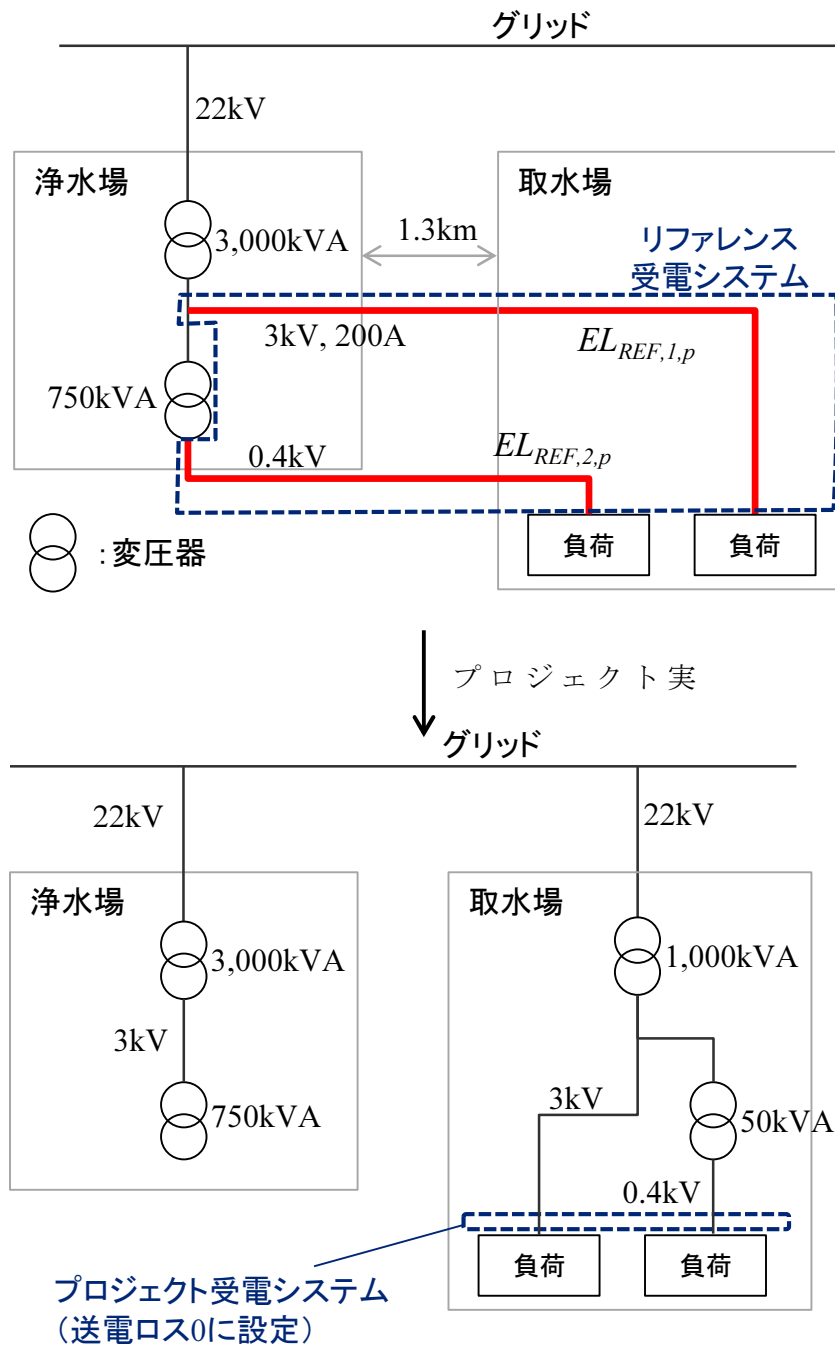


図 2. 浄水場—取水場間の送電ロス低減 (Option 2) 概要

3) 高効率変圧器の採用 (Option 3)

浄水場では各動力設備に電力を供給するため、3.3kV を 380V-220V に変圧する変圧器が用いられている。この変圧器が老朽化しているため、これを高効率変圧器に更新することにより、エネルギーを削減する。(図 3 参照)

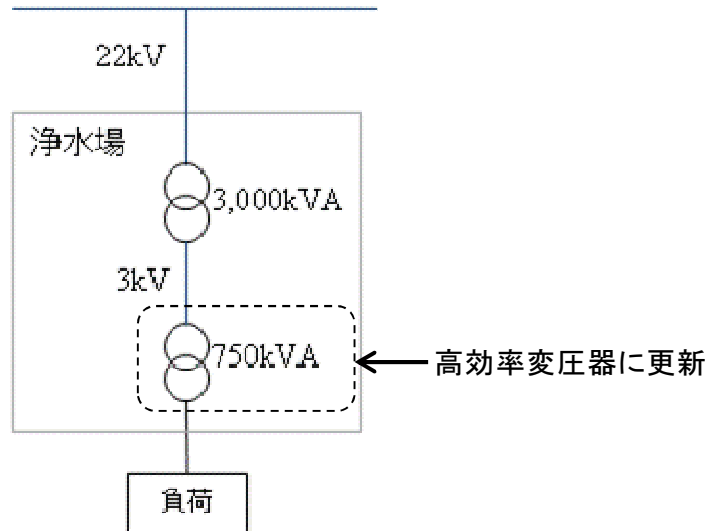


図 3. 高効率変圧器の採用 (Option 3) の概要

②チャンカーモン浄水場におけるプロジェクト概要

1)配水ポンプインバータ化(Option 4)

浄水場内では 400V、110kW の配水ポンプ 3 台が運転されているが、このうち 1 台をインバータ方式に変更し、ポンプレック浄水場と同じく吐出圧の自動制御を行うことにより、本浄水場も高効率化しエネルギーを削減する。(図 4 参照)

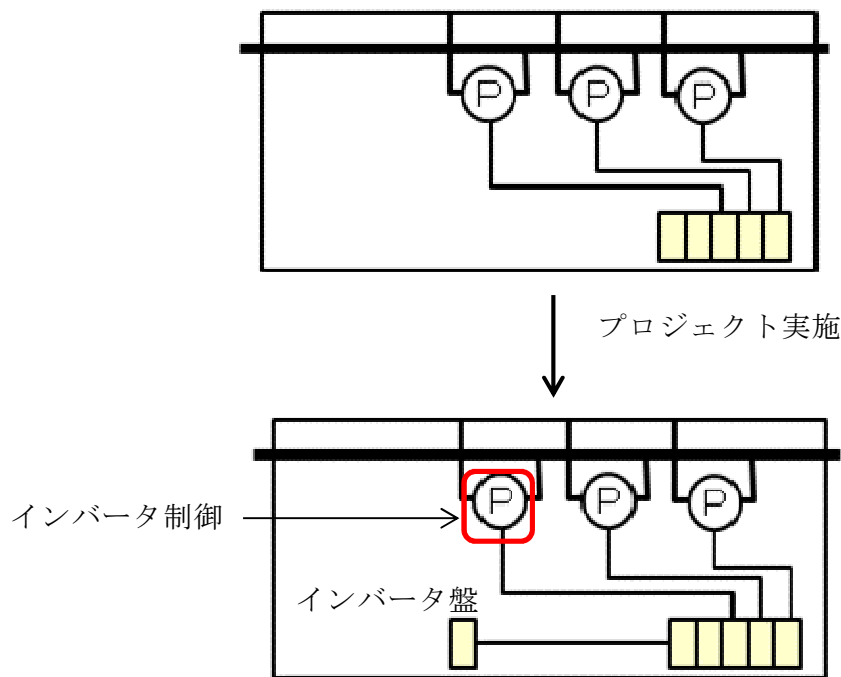


図 4. 配水ポンプインバータ化(Option 4)概要

2) 浄水場—取水場間の送電ロス低減(Option 5)

本浄水場では、22 kV で受電した電力を変圧器(22kV/0.4kV)、変圧器(0.4kV/15kV)を経由して取水場に送電し、さらに変圧器(15kV/0.4kV)で 400V に降圧しているため、変圧器のロスが生じている。さらに浄水場から取水場まで約 800m 離れており、0.311 Ω /km のケーブルインピーダンス分のロスも発生している。このロスを低減するため、取水場に変圧器(h)を設置し直接受電に変更する。(図 5 参照)

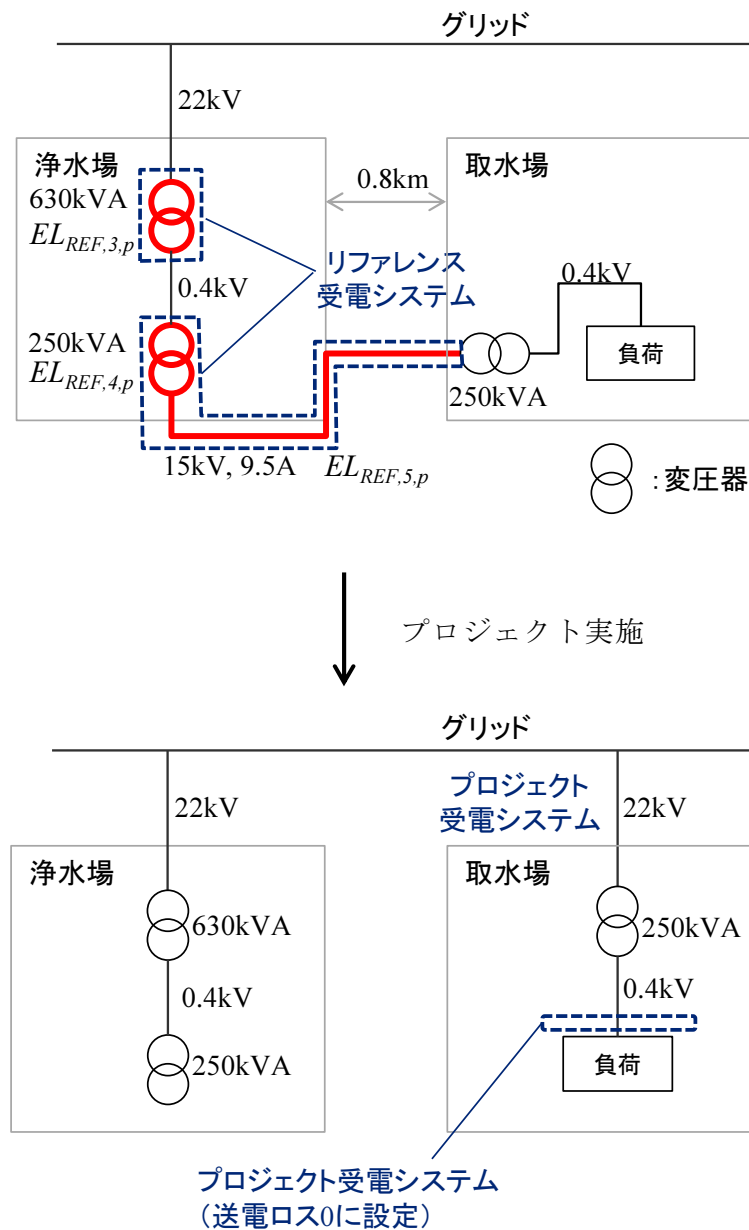


図 5. 浄水場—取水場間の送電ロス低減(Option 5)概要

(2) ホスト国における状況

カ国における気候変動に対する取り組みは、環境省 (Ministry of Environment、以下

「MOE」) の気候変動局が所管している。同局の役割は主に下記の 4 点である。

- ① 自然環境の持続的な管理
- ② 気候変動に対応するための政策の実施
 - 「カンボジア気候変動戦略計画 2014-2023」
 - 「緑の開発に関する政策」
 - 「緑の開発に関する政府戦略 2013-2030」
- ③ 国家レベル及び準国家レベルでの気候変動に関する政策、法律、計画の立案及び促進活動の継続的な実施
- ④ 環境とエコシステムの管理手法の継続的な紹介

MOE は国家戦略開発計画(2014－2018 年、National Strategic Development Plan、「NSDP」) を策定し、その中で気候変動対策を国家の重要課題としてとらえ、緑の成長と低炭素開発を政策の目玉として掲げている。現状の課題として、熟練技術者の不足や職場環境の改善、環境対策を実施するための機材の不足、気候変動に対応するためのデータやデータ管理メカニズムの整備が挙げられる。そのため、具体的なアクションプランの策定及びその確実な実施が急務となっている。特に最近は、積極的な国際交流による情報の収集や発信、学校教育における環境教育の実施等の新たな活動を始めている。

下記に、近年における MOE の気候変動対策に関する主な活動事例を上げる。

- 2013 年 1 月までに、カ国は CDM に関する 10 プロジェクトを承認し、全プロジェクトが国連理事会に登録されたことが発表されている。この CDM プロジェクト実施によって、年間 2 百トン相当の GHG 排出量削減が見込まれている。
- 2014 年 10 月に横浜市で開催された第 3 回東アジア低炭素成長パートナーシップ対話や、2014 年 11 月にプノンペン特別市で開催された公益財団法人地球環境戦略研究機関 (Institute for Global Environmental Strategies、以下「IGES」) との合同シンポジウムでは、今後の JCM 事業の円滑な実施について議論された。

(3)プロジェクトの普及

本プロジェクトは、あらゆる生物にとって欠かすことのできない水に関係するプロジェクトである。水需要は人口増加、農業利用、都市化、工業化などに伴い、近年、世界

規模で急速に増大しており、限られた水資源を最大限活用するため、各地で水インフラの整備が急速に進められている。表4の世界水ビジネス市場の事業分野別・業務分野別成長見通しでは、2007年の世界水ビジネスの市場規模は約36兆円であるのに対して、2025年は約87兆円と約3倍に成長すると予想されている。また『Regional Document ASIA-PACIFIC, 5th World Water Forum Secretariat, 2009』では東南アジアの水需要量は、2004年時点で約200,000百万m³/年であったが、2025年には約320,000百万m³/年と1.6倍に増加すると算定されている。このような状況から、本プロジェクトは今後も成長を続ける水市場分野において、高い普及ポテンシャルを有するものと考えられる。

またPPWSAはカ国における最大の水道事業体であり、カ国内の他の州都における水道事業体の技術指導や、国際的な技術交流等にも積極的に参加している。従ってPPWSAが他の水道事業体に及ぼす影響は大きく、本プロジェクトにてGHG排出削減ならびに電気料金削減の成果を上げることにより、PPWSAを介した類似プロジェクトの普及が期待される。

さらに東南アジアでは、日本以外の他のドナーによる事業等により納入された、安価な海外製品が使用されている浄水場が存在する。カ国ではそのような製品使用により、電気設備の焼損事故や、短期間での修理・交換等の維持管理上の不都合が発生しており、現地では信頼性に優れた日本製品を要望する声が確認された。このような現状も、本プロジェクトの普及を後押しするものと考えられる。

表4. 世界水ビジネス市場の事業分野別・業務分野別成長見通し

(上段:2025年…合計87兆円、下段:2007年…合計36兆円)

業務分野 事業分野	素材・部材供給 コンサル・建設・ 設計	管理・運営サービス	合計
上水	19.0兆円 (6.6兆円)	19.8兆円 (10.6兆円)	38.8兆円 (17.2兆円)
海水淡水化	1.0兆円 (0.5兆円)	3.4兆円 (0.7兆円)	4.4兆円 (1.2兆円)
工業用水・ 工業下水	5.3兆円 (2.2兆円)	0.4兆円 (0.2兆円)	5.7兆円 (2.4兆円)
再利用水	2.1兆円 (0.1兆円)	-	2.1兆円 (0.1兆円)
下水	21.1兆円 (7.5兆円)	14.4兆円 (7.8兆円)	35.5兆円 (15.3兆円)
合計	48.5兆円 (16.9兆円)	38.0兆円 (19.3兆円)	86.5兆円 (36.2兆円)

:ボリュームゾーン(市場の伸び2倍以上、市場規模10兆円以上)
 :成長ゾーン (市場の伸び3倍以上)

(出典) Global Water Market2008 及び経産省試算 1US\$=100円

3. 調査の方法

(1) 調査実施体制

国内及びホスト国等における調査実施体制及びその役割を図6に示す。日本側はメタウォーター株式会社を主提案者、株式会社松尾設計を共同実施者（調査実施団体）として、共同で調査を実施した。また調査実施団体は有限責任監査法人トーマツにMRV（Measurement, Reporting and Verification：温室効果ガス排出量の測定、報告及び検証）方法論作成を外注した。本調査では、委員会を設置しており、北九州市上下水道局に委員会委員を委嘱した。

カ国側は、プロジェクト実施主体（カウンターパート）をPPWSAとし、水道事業を管轄するMIH及びJCM制度を管轄するMOEが委員会に参加した。

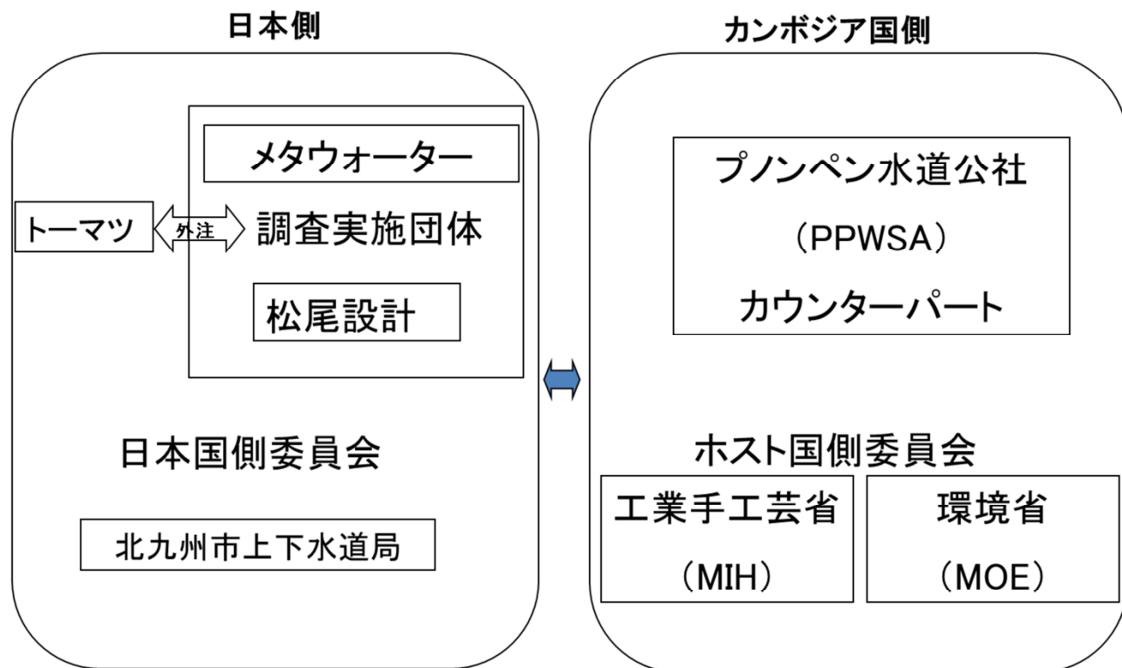


図6. 調査実施体制

下記に各団体の役割分担を示す。

【日本側】

- ・メタウォーター株式会社（主提案者）
調査取り纏め、電気設備技術検討、電力使用量測定

- ・株式会社松尾設計（共同実施者）
機械設備技術検討、環境十全性評価
- ・有限責任監査法人トーマツ（外注先）
MRV 方法論作成
- ・北九州市上下水道局
委員会出席、助言等

【ホスト国側】

- ・PPWSA（カウンターパート）
帳票並びに図面提出、現地案内等の現地調査協力
- ・MIH
委員会出席、助言等（水道事業管轄省庁の立場より）
- ・MOE
委員会出席、助言等（JCM 制度管轄省庁の立場より）

(2)調査課題

本調査にて明らかにする主な課題は下記の通りであった。

① プロジェクト資金計画及びスキーム

（理由）PPWSA は老朽化した設備更新ならびに電気料金削減を望むものの、本プロジェクトでは補助金以外の部分については、PPWSA より投資される必要がある。そのため本調査にてプロジェクト資金計画を明らかにする。また JCM では国際コンソーシアムを組成する必要があるため、プロジェクトスキームの調査も実施する。

② 環境影響評価

（理由）プロジェクト実現にあたり、環境規制や類似工事における過去の事例を調査する。

③ 日本の ODA（無償）にて納入された設備の更新手続き

（理由）本プロジェクトにおける対象設備には、ODA 無償により納入された設備が含まれている。このような設備の更新を実施するにあたり、どのような手続きが要求されるのかを明らかにする。

- ④ ポンプのインバータ化による GHG 排出削減効果算定方法の方法論作成
(理由) ポンプのインバータ化は、機器の更新ではなく、回転数を制御して省エネルギーを計る手段である。ここで、インバータ化の効果は、ポンプの運転負荷率により大きく変わる。よって、ポンプの運転負荷率の算定方法と、運転負荷率に応じた省エネ効果を算定する方法論を、本調査において新たに作成する必要がある。
- ⑤ ポンプのリファレンス設定
(理由) カ国の浄水場に設置されているポンプのリファレンス設定のためには、製造業者、市場占有率、効率などの情報が必要である。これらに関する情報が現状無いため、調査により明らかにする。
- ⑥ 浄水場－取水場間の送電ロスに関するリファレンス設定
(理由) カ国の浄水場における浄水場－取水場間の送電ロスのリファレンス設定のためには、送電システムの構成要素である送電線・変圧器の仕様及びそこで発生する送電ロスを定量化する必要がある。これらに関する情報が現状無いため、調査により明らかにする。
- ⑦ 変圧器のリファレンス設定
(理由) カ国の浄水場に設置されている変圧器のリファレンス設定のためには、製造業者、市場占有率、効率などの情報が必要である。これらに関する情報が現状無いため、調査により明らかにする。
- ⑧ MRV 実施に係るモニタリング体制の確立
(理由) MRV 方法論を適用して GHG 排出削減量を算定するためには、各計測項目に係るモニタリング体制の確立が必要不可欠である。現状のモニタリング体制を調査し、必要に応じて研修を行うことにより、モニタリング体制の確立を図る。

(3)調査内容

上述の調査課題を明らかにするため、本調査では下記の調査を行った。

- ① プロジェクト資金計画及びスキーム
現在の浄水場における設備運用状況や電気使用量の調査を行い、プロジェクト範囲、初期投資額、電気料金削減効果等の検討を行い、PPWSA と協議を行った。また、国際コンソーシアムの組成についても、PPWSA 及び委員会委員と協議を行った。

② 環境影響評価

PPWSA に過去の類似工事における事例や委員会委員へのヒアリング等を行い、情報収集を行った。また、収集された情報に基づき、インターネット等を活用し、環境規制関連の情報収集を行った。

③ 日本の ODA（無償）にて納入された機器の更新手続き

JICA カンボジア事務所にヒアリングを実施した。設備更新実施にあたっては、プロジェクト実施主体より JICA カンボジア事務所への連絡が必要であることを確認した。JICA カンボジア事務所にて、対象設備の使用年数、耐用年数、設備規模等を総合的に判断し、更新手続きが決定される。

④ ポンプのインバータ化による GHG 排出削減効果算定の方法論作成

方法論作成に必要な情報を、浄水場運用事業者、コンサル会社、製造メーカーへのヒアリングにより収集した。方法論作成に必要な一部項目については、プンプレック浄水場において、実測を行った。

⑤ ポンプのリファレンス設定

PPWSA が所有する 4 つの浄水場に設置されている全配水ポンプについて、製造業者の試験データを入手し、分析を実施した。

⑥ 浄水場－取水場間の送電ロスに関するリファレンス設定

浄水場－取水場間の送電ロスの要因である送電線及び変圧器を調査した。その内、プンプレック浄水場については、送電線及び変圧器の送電ロスを実測した。

⑦ 変圧器のリファレンス設定

PPWSA が所有する 3 つの浄水場に設置されている全変圧器と、グリッド接続の変圧器を所管するカンボジア電力公社（Electricité du Cambodge、以下「EDC」）が推奨する製造業者の変圧器について、効率に関する情報を入手し、分析を実施した。プンプレック浄水場の 2 つの変圧器の効率については、実測を行った。



⑧ MRV 実施に係るモニタリング体制の確立

PPWSA が所有する 2 つの浄水場について、現在の MRV 体制を調査した上で、JCM プロジェクト実施の際の課題を抽出し、モニタリング担当・責任者と協議を行った。

なお、本調査内容に関する概要を表 5 に示す。

表 5. 調査概要

	期間	訪問先	調査概要
第 1 回	8 月 24 日 ～9 月 1 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ PPWSA ・ プンプレック浄水場 ・ チャンカーモン浄水場 ・ JICA カンボジア事務所 ・ 民間水道業者 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現地調査内容の説明 ・ 設備状況確認 ・ 環境十全性 ・ ポンプ市場調査 ・ 運転管理データ、設備管理データ収集
		 <p>プンプレック浄水場</p>	 <p>チャンカーモン取水場</p>
第 2 回	9 月 28 日 ～10 月 4 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ PPWSA ・ プンプレック浄水場 ・ ニロート浄水場 ・ MIH ・ 機器業者 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本調査進捗説明 ・ プノンペン特別市内配水計画情報収集 ・ 設備計測方法確認 ・ 配水ポンプ運転情報収集 ・ ポンプ市場調査 ・ 第 1 回委員会開催(PPWSA・MIH 参加)
		 <p>ニロート浄水場</p>	 <p>第 1 回委員会</p>

第3回	11月14日 ～11月27日	<ul style="list-style-type: none"> ・ PPWSA ・ プンプレック浄水場 ・ チャンカーモン浄水場 ・ 鉱物エネルギー省 ・ MOE ・ EDC 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本調査進捗説明 ・ 浄水場設備モニタリング調査 ・ 設備計測（配水ポンプ特性曲線・変圧器効率・送電ロス） ・ グリッド排出係数調査 ・ 変圧器市場調査 ・ 第2回委員会準備
			
		配水ポンプ特性測定	力率改善コンデンサの特性計測指導 (PPWSA リクエストによる)
第4回	12月14日 ～12月20日	<ul style="list-style-type: none"> ・ PPWSA 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現地調査結果説明 ・ 設備投資や入札等の打合せ ・ 第2回委員会開催（PPWSA、MOE参加）
第5回	2月8日～ 2月14日	<ul style="list-style-type: none"> ・ PPWSA ・ MOE ・ MIH 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査報告書提出 ・ 今後のスケジュールについて ・ プロジェクトのスキーム及び調達方法について ・ PPWSA 取締役会での説明内容協議

4.プロジェクト実現に向けた調査

(1)プロジェクト計画

①プロジェクト実施体制

本調査結果に基づく GHG 排出削減プロジェクトの実施体制案を図 7 に示す。実施体制により実現されることを目指す。国際コンソーシアムの形態については、幹事会社をメタウォーター株式会社とし、省エネ機器納入及び電気技術管理を担うこととする。また、構成員として現地工事会社を予定している。現地工事会社には建築工事、機械・電気工事の施工品質が高く、現地に於て多数の実績を有する会社を候補として検討している。株式会社松尾設計はポンプ、モーター等の機械技術管理を担い、有限責任監査法人トーマツは、プロジェクト実施主体である PPWSA に対し、MRV 実施に関するキャパシティ・ビルディング等の方法論に係る支援を実施する体制を目指す。また、本プロジェクトは JCM が水道事業体に活用される初めての事例となり、日本における水道技術・ノウハウの展開が期待される。しかしながら現在の日本水道のほとんどは、公共事業体により運転・維持管理等が実施されており、民間企業には水道事業に関するノウハウがあまり蓄積されていない。このことから、カ国の水道事業発展に多くの実績を有する北九州市上下水道局がプロジェクトに関与し、日本の水道技術の展開を図る。

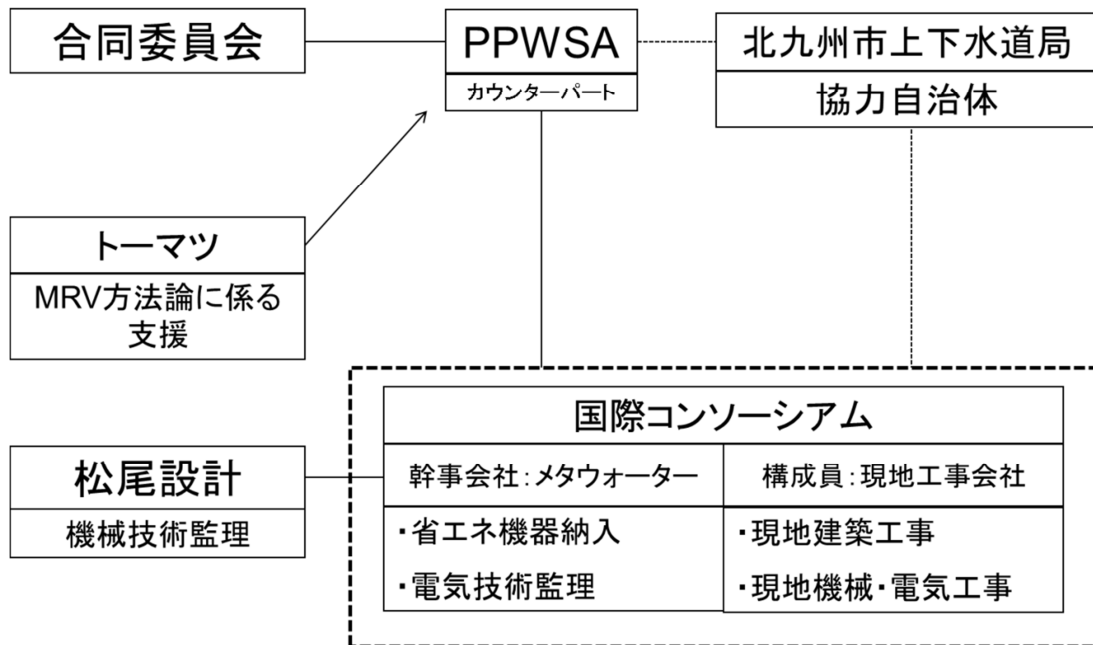


図 7. プロジェクト実施体制案

②工事計画

プノンペン特別市は現在急速な都市化が進んでおり、人口の増加に伴い造水量及び配水区域は年々拡大している。プノンペン特別市における将来の水需要予測及びプノンペン特別市における将来の配水区域をそれぞれ図 8、図 9 に示す。PPWSA は既に都市化への対策を講じており、フランス開発庁（Agence Française de Développement、「AFD」）の借款資金により、Greater Phnom Penh Water Supply System（GPPWSS）を計画している。この計画では 2017 年までに主にニロート浄水場フェーズ 2（130,000m³/日）、15km の送水管拡張及び 780km の配水管網拡張などを推進している。

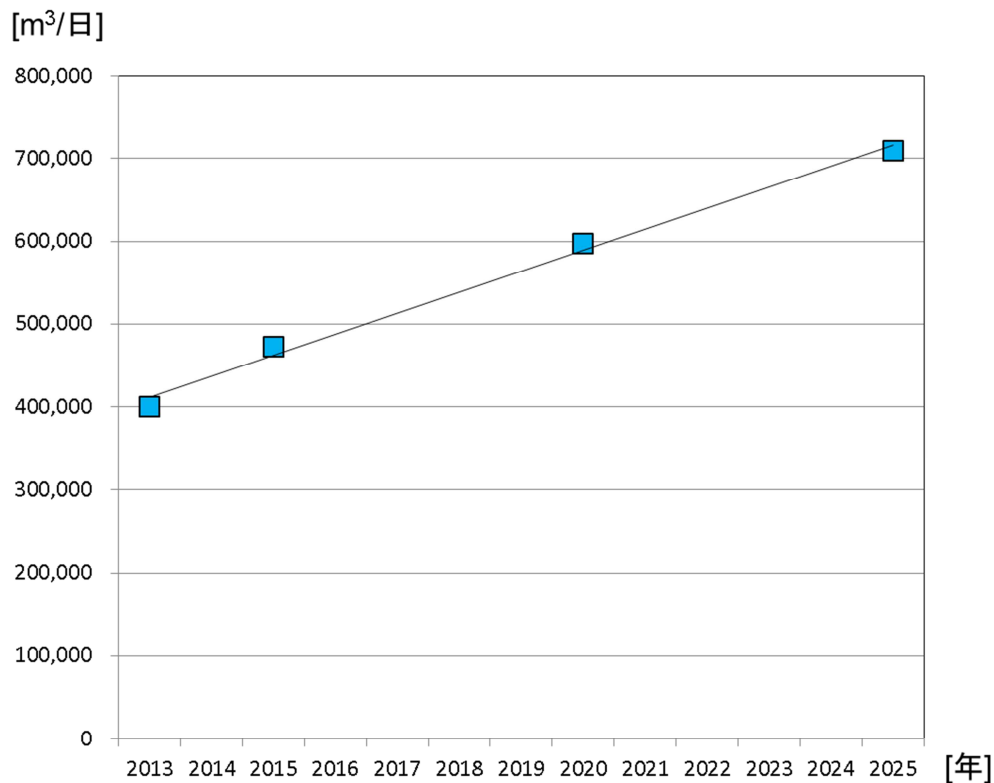


図 8. プノンペン特別市における将来の水需要予測（出典：PPWSA よりメタウォーター作成）

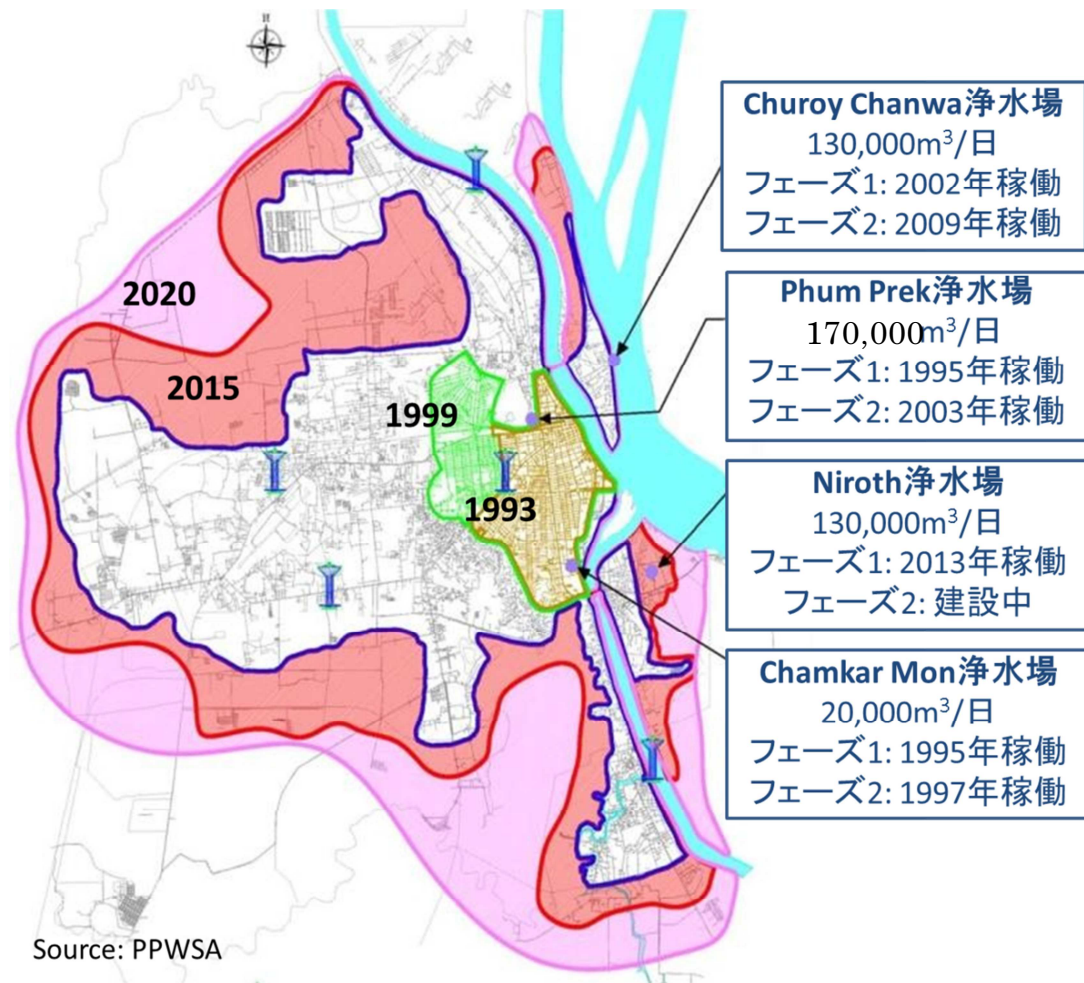


図 9. プノンペン特別市における将来の配水区域 (出典: PPWSA)

また、プンプレック浄水場は PPWSA が有する浄水場の中でも、主にプノンペン特別市内の中心部に配水している浄水場であり、水需要の増加に対し、配水ポンプの大型化計画を進めている。PPWSA はすでに 320kW、180kW のポンプ各 1 台に代わり、520kW、272kW のポンプを各 1 台購入している (図 10 参照)。これに伴い、モーターはインバータ化可能なモーターを購入している。本調査では、下記の観点から大型化される 520kW、272kW の配水ポンプのインバータ化が GHG 排出削減に最も有効であると考え、プロジェクトの対象とした。

- ・人口集中地域における水需要変動への対応
- ・大型化されるポンプにより複雑化される配水圧力管理の最適化
- ・インバータ化対応可能なモーターの活用による初期投資費用の低減

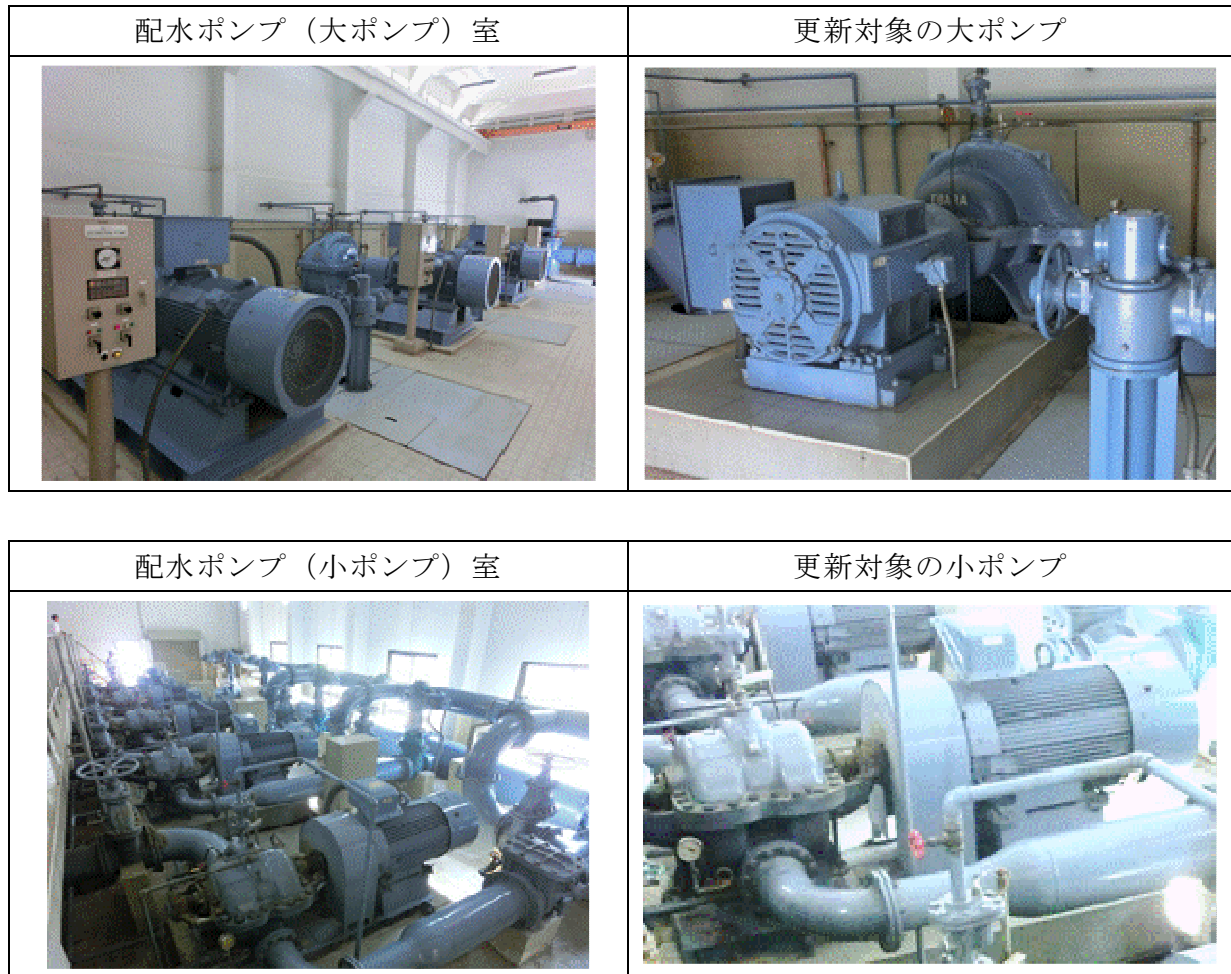


図 10. プンプレック浄水場配水ポンプ室及び更新対象のポンプ

チャンカーモン浄水場は、新規に建設された商業施設や新興開発地域への配水に特化した浄水場となる計画が進められている。この計画を実行した場合、昼夜の水需要変動が大きく変動することが予想され、この変動に効率的に対応するためには配水ポンプのインバータ化は有効であると検討し、本調査では配水ポンプ 1 台をインバータ化することとした。(図 11 参照)

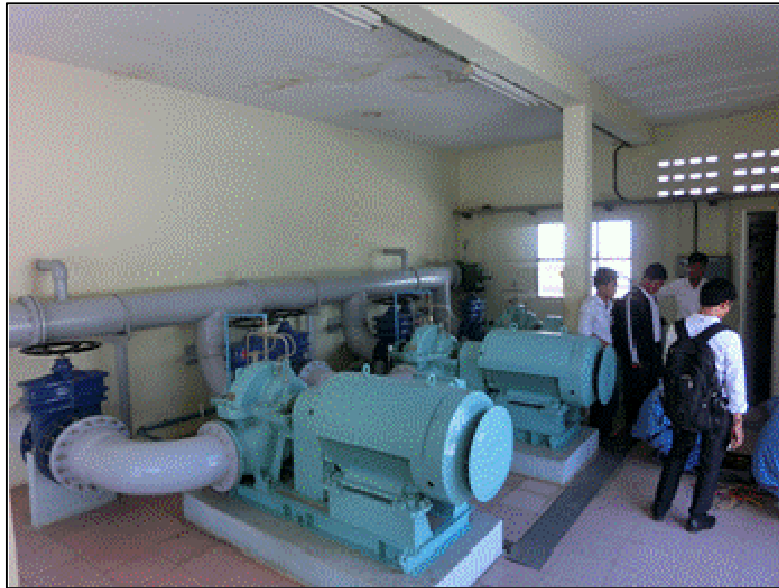


図 11. チャンカーモン浄水場配水ポンプ室

プンプレック浄水場及びチャンカーモン浄水場では、各配水ポンプを個別に停止可能であることから、インバータ化への切替の際は、対象の配水ポンプ設備のみの停止となり、配水停止などは伴わない。

浄水場－取水場間の送電は、プンプレック浄水場、チャンカーモン浄水場の両浄水場において行われている。PPWSA は送電による電力的な効率のロスだけでなく、断線による停電により浄水場が運転不可となる操業上のリスクにも懸念を示しており、現にプンプレック浄水場－取水場間では過去に断線事故が発生している。本調査では両浄水場を取水場での直接受電に変更することにより、送電ロス低減と断線リスク低減の観点からメリットがあると考え、プロジェクトの対象とした。チャンカーモンの取水場においては、400V の低圧ポンプが使用されているため、低圧での直接受電の検討も行ったが、PPWSA の意向ヒアリングによると、400V の低圧系統は安定性が低く、停電のリスクが高い等の課題があるため、プラントに使用すべきでないとのことであった。そのため、チャンカーモン取水場においても、22kV で直接受電を行うこととした（図 12 参照）。

取水場における直接受電への切替工事においては、一時的に取水場への電力供給を停止させる必要がある。PPWSA によると、このような電力供給停止を伴う工事は夜間であれば可能であり、停止は2時間まで可能であるとのことであった。本工事に当たっては、取水場に受変電設備を事前に新設しておき、一時的に停止させ受電系統を切替える手法により2時間以内の作業は可能であると考えられ、運用面に大きな影響は及ぼさないと想定している。



図 12. チャンカーモン取水場の変圧器

プンプレック浄水場の 3.3kV を 380-220V に変圧している変圧器は、低圧の動力設備に配電している。この変圧器は 1995 年当初より使用されており、老朽化が進んでいる。本調査では高効率変圧器へ更新することで、効率の改善が可能と考え、プロジェクトの対象とした。

高効率変圧器の切替工事に当たっては、一時的に動力設備の停止が必要となり、浄水場の停止を伴う。前述のように PPWSA によると停止は 2 時間まで可能であるため、停止前に可能な限り準備を進めることで、時間内の作業実施は可能であると想定している。

③プロジェクト実施主体の経営体制・実績

PPWSA は 1954 年に創業し、2012 年 4 月にカ国証券取引所に株式公開された。2014 年時点の PPWSA の資本金は、約 21 百万 US ドル、職員数は 727 人である。営業利益は 2001 年の約 2.2 百万 US ドルから、2011 年には約 9.1 百万 US ドル、2013 年には約 12.8 百万 US ドルに増加しており、堅調に推移している。（表 6 参照）

表 6. PPWSA の損益計算書

項目	金額（単位：US\$）		
	2013 年	2012 年	2011 年
営業収益	37,896,000	33,780,000	28,771,000
給水収益	34,100,000	30,615,000	28,336,000
受託工事収益	1,813,000	1,666,000	-
その他営業収益	1,983,000	1,501,000	435,000
営業費用	(25,012,000)	(23,107,000)	(19,612,000)

減価償却費	(6,131,000)	(5,342,000)	(5,310,000)
電気料金	(6,852,000)	(6,373,000)	(5,703,000)
人件費	(4,962,000)	(5,225,000)	(4,743,000)
薬品費	(830,000)	(947,000)	(1,116,000)
給水接続材料費	(1,418,000)	(1,223,000)	(1,282,000)
修繕維持費	(1,174,000)	(966,000)	(622,000)
受託工事費	(1,663,000)	(1,495,000)	-
その他営業費用	(1,663,000)	(1,122,000)	(783,000)
外貨為替差益（差損）	(323,000)	(419,000)	(55,000)
営業利益	12,884,000	10,673,000	9,160,000
営業外収益	2,149,000	1,683,000	2,256,000
営業外費用	(3,010,000)	(1,633,000)	(1,401,000)
税引き前利益	12,022,000	10,723,000	10,015,000
所得税	(2,336,000)	(2,118,000)	(2,017,000)
税引き後利益	9,687,000	8,606,000	7,998,000

1US\$=4000 リエル

（出典）PPWSA の『Financial Statements』より作成

図 13 に 2014 年現在の PPWSA の組織図を示す。組織の最上位に位置する取締役会 (Board of Directors) は、MIH 1 名、経済財務省 (Ministry of Economy and Finance、「MEF」) 1 名、プノンペン特別市議会 1 名、社外取締役 1 名、公共投資家 1 名、PPWSA 2 名の計 7 名から構成されており、この取締役会にて年間執行予算や投資判断を行っている。この取締役会は四半期に 1 度開催されている。また、必要な場合は、臨時取締役会が開催されることも確認している。取締役会の下には、総裁 1 名、副総裁 6 名が配されている。

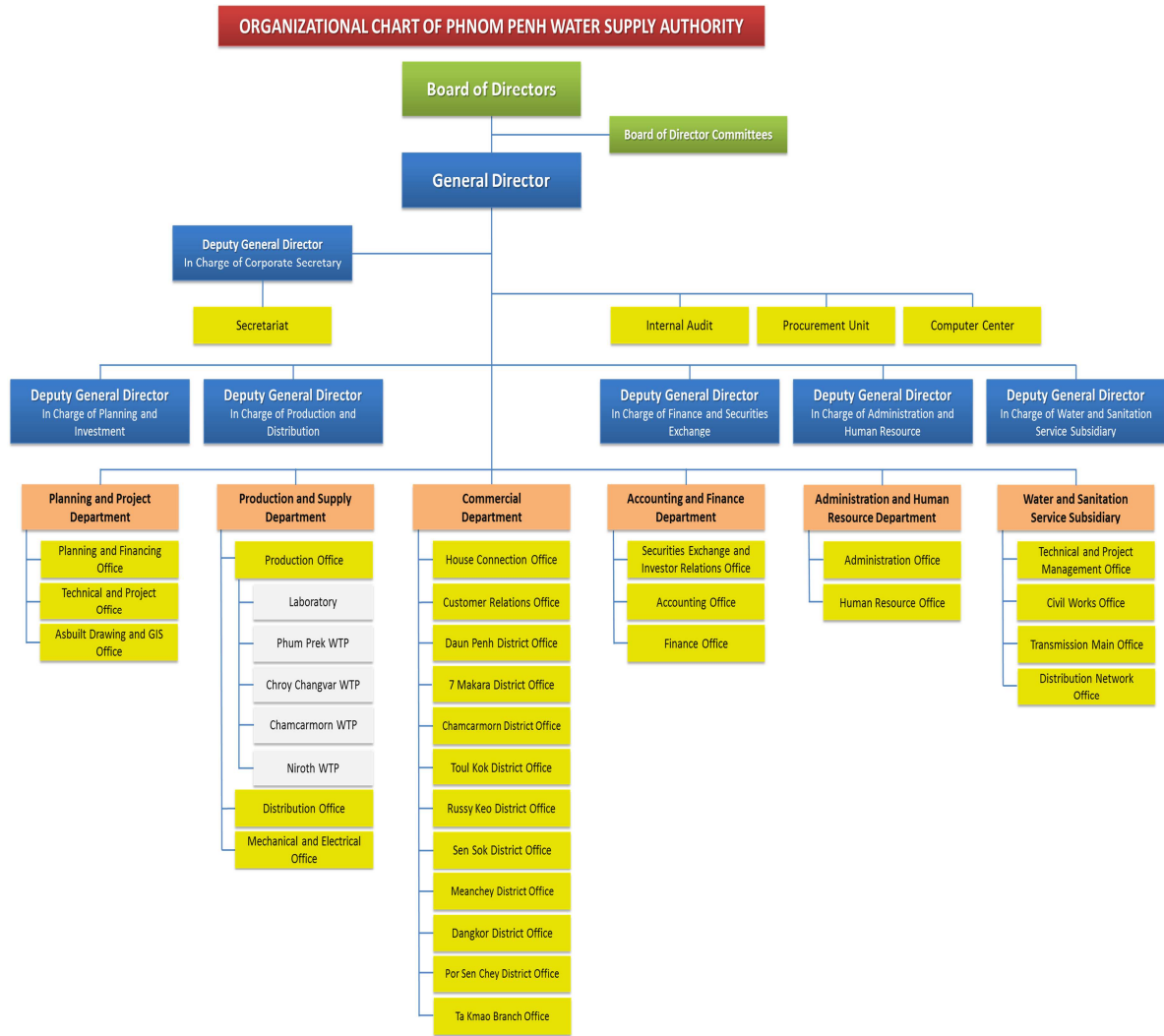


図 13. PPWSA の組織図 (出典 : PPWSA)

④事業収益性の評価

1)事業収益性評価の前提条件

i)プロジェクト実施体制

事業実施に向けては最終的にPPWSAの内部決裁に委ねられることになるが、原則的にはPPWSA が完成施設を自らの水道施設の一部として所有し、事業を継続遂行するものと想定している。即ち、本プロジェクトをPPWSAの事業から切り出して特別目的会社（Special Purpose Company、以下「SPC」）を設立する可能性は低いものと認識している。JCM 補助金でカバーされない施設整備費用(投資コスト)の資金源については、PPWSAの予算に基づいて決定されることになるが、本調査の評価においては、経常的な更新投資予算の一部として剰余金の中で賄われるものと想定している。

ii)プロジェクト期間

PPWSAは永続企業であるが、プロジェクトとしての成果は一定期間の中で評価される必要がある。省エネ機器の標準ライフサイクルは20年前後であり、その間に投資回収した上で、投下資本と共に投下資本に見合った利益を獲得することが求められる。また、プロジェクトライフサイクルの中場（10年以内）には投資回収を確実にできることが求められるものと推察される。

iii)評価通貨

金額は全てUSドル建てで評価を行う。カ国には自国通貨リエル（KHR）が存在するが、現地経済の90%はUSドルで取引が行われており（スーパーマーケットの価格表示は全てドル表示で、釣銭も1ドル以上はドルで返ってくる）、USドルでの評価が妥当と考えられる。初期投資は日本円であるが、1年以内の建設期間であり、為替予約等の措置で対応することを想定して、USドル建てで評価する。PPWSAの調達要件上も、国際調達市場の価格レベルを考慮したUSドルベースでの評価を志向している事情を汲むものである。

iv)電気料金削減効果

電気料金単価は、現状の平均調達単価であるUS\$0.18/kWhで削減メリットを評価する。電気料金単価のプロジェクトライフサイクルにおける変動については、収入源である水道料金と共に、公共料金としての位置付けから安定した相関関係が維持されるものがあり、むしろ価格変動を恣意的に想定することは妥当ではないものと認識し、無視して評価を行うこととする。

比較は、提案のJCMリファレンスに基づく電力削減量をベースとして議論している。

v)物価変動

維持管理費用を含め、全てのコストがUSドル建てであり、物価上昇率は発展途上国としては低く、安定している。過去15年（1998年から2013年）の年平均物価上昇率は4.2%であり、2008年の25%という異常値を除外すれば、最高でも8%以下と安定している。2008年を除いた平均を取ると2.8%である。

vi)割引率(Discount Rate)

現在価値評価を行うための割引率については、一般的に国債の金利が適用されるが、信頼すべき指標が得られないため、上記(4)の物価上昇率（2008年異常値を除く調整ベース）で年3%を採用してPPWSAに説明を行っている。

2)適用評価指標：

事業収益性評価指標として、「投資回収期間法」、「現在価値法」、「内部収益率法」を適用して多面的に評価を行っている。

i)投資回収期間(Pay-Back Period)法

投資回収の確実性を可視化できる投資回収期間は投資意思決定に重要な役割を果たす指標とされている。PPWSAは、6年を一つの目安として評価している。

ii)現在価値 (Net Present Worth、以下「NPW」)法

割引キャッシュフロー (Discounted Cash Flow、以下「DCF」)に基づくため、その割引率とプロジェクトライフサイクルの設定の合理性が求められる。本調査では、早期に結果を確認できる10年案と、良いものを長く使うという発想に基づく30年案も検討したが、最終的に一般的な耐用年数である20年を採用とした。割引率については、特に標準値が定められていないため、3%で議論を進めている。

iii)内部収益率(Internal Rate of Return、以下「IRR」)法

現在価値法と同様に20年を採用した。資本コストとの比較において投資意思決定が行われるが、資本コストは個々の企業の資本政策に基づくものであり、PPWSAの判断に委ねられることになるが、PPWSAの純資産利益率(6%前後)を参考値として捉えている。日本の民間企業が海外でPPP事業を実施する場合には、事業リスクを含めてより高い収益性を求めるが、本来収益性を求めない公営企業による事業であり、6%あるいはそれ以下でも十分なレベルと考えられる。

3)評価結果

ポンプレック浄水場とチャンカーモン浄水場についての各種提案内容 (Option) についての評価結果を表7に示す (表中では、ポンプレック浄水場をPP WTP、チャンカーモン浄水場をCM WTPと記載した)。個別オプションの中では、ポンプレック浄水場におけるインバータ化提案 (Option 1) とチャンカーモン浄水場の送電ロス削減案 (Option 5) が、PPWSAが目安とする投資回収期間である6年前後であり、20年間プロジェクトライフサイクルでの現在価値評価が投資額を越えている (投資に対してDCFリターンが2倍以上)、 $IRR > 10\%$ ということによって投資効果が充分得られるものと考えられる。しかし、その他のオプションでは単独で投資効果が得られないとの結果となった。全オプションを採用すれば、投資回収期間5年、現在価値 > 投資価値、 $IRR \approx 18\%$ と投資効果は充分に得られるものと想定され、PPWSAへは全オプション採用を推奨している。

表7. 事業収益性の評価結果

	初期 投資額 (US\$)	電力 削減量 (MWh/年)	JCM 補助金有		
			Pay-back period (年)	NPW 20年 (US\$)	IRR 20年 (%/年)
Option 1 (PP WTP) ポンプインバータ化	560,200	667	2.9	1,374,195	34.1%
Option 2 (PP WTP) 送電ロス低減	327,900	40	27.3	-89,622	-2.8%
Option 3 (PP WTP) 高効率変圧器	109,300	18	20.2	-17,377	-0.1%
小計(PP WTP)	997,400	725	4.8	1,267,195	20.4%
Option 4 (CM WTP) ポンプインバータ化	164,400	37	15.2	-2,085	2.8%
Option 5 (CM WTP) 送電ロス低減	81,900	38	7.2	52,622	12.6%
小計(CM WTP)	246,300	75	11.1	50,537	6.4%
合計	1,243,700	800	5.4	1,317,732	17.9%

補助率は総投資額の40%として計算

PP WTP：プンプレック浄水場

CM WTP：チャンカーモン浄水場

特に、送電ロス低減案(Option 2 及び Option 5)では、電力削減効果以外に、現状維持による操業上のリスク（4.（1）②工事計画参照）解消によるメリットを価格換算して評価すると、結果は表 8 の通りとなり、提案全体での投資回収期間が約 4 年となる。

表8. 操業上のリスク解消を考慮した事業収益性の評価結果

	初期投資額 (US\$)	電力削減量 (MWh/年)	JCM 補助金有		
			Pay-back period (年)	NPW 20年 (US\$)	IRR 20年 (%/年)
Option 1 (PP WTP) ポンプインバータ化	560,200	667	2.9	1,374,195	34.1%
Option 2 (PP WTP) 送電ロス低減	327,900	40	3.2	66,517	10.3%
Option 3 (PP WTP) 高効率変圧器	109,300	18	20.2	-17,377	-0.1%
小計(PP WTP)	997,400	725	3.3	1,423,335	25.3%
Option 4 (CM WTP) ポンプインバータ化	164,400	37	15.2	-2,085	2.8%
Option 5 (CM WTP) 送電ロス低減	81,900	38	3.0	80,059	22.8%
小計(CM WTP)	246,300	75	6.4	77,974	8.8%
合計	1,243,700	800	3.7	1,501,309	22.2%

補助率は総投資額の40%として計算

PP WTP：プンプレック浄水場

CM WTP：チャンカーモン浄水場

⑤初期投資・維持管理及びMRVに関する資金計画

PPWSA は設備の老朽化に対して、更新計画を立案し、資金を準備しているため、本提案の経済性及び有益性を示すことにより、この資金から初期投資費用が見込まれる。本プロジェクトの初期投資額を示した上で、PPWSA の意見をヒアリングしたところ、本プロジェクトにおける初期投資規模で、さらにJCMの補助金を最大限に得ることができれば、自己資金からの初期投資が想定されるとの回答を得ている。PPWSA は電気料金の削減のみならず、事業収益性、GHG 排出削減の観点からも本プロジェクトに対して期待しており、プロジェクト実現のために、PPWSA 内の予算化措置、取締役会への説明、調達方法について協議継続中である。設備の維持管理費用、MRVにおいても、本プロジェクトにおける維持管理費の規模であれば、通常の営業費用から拠出可能との回答を得ている。

⑥リスク分析

1) 外部環境要因

一般的な外部環境要因として、PESTEL(政治・経済・社会・技術・環境・法律)の要素が挙げられるが、本プロジェクトでは、いずれもインパクトは限定されている中で、経済・技術・法律について、以下のとおり認識している。

- i) 経済環境リスク要因の中で、最も事業性に影響するのが貨幣価値の変動であるが、本プロジェクトの対象国であるカ国ではリエルという自国通貨を持ちながら市場はUSドルで動いており、USドルベースでの事業評価を行う本プロジェクトでの通貨リスクは日本からの供給設備のコストに限定される。
- ii) 技術リスク要因としては、将来の更なる技術向上によってプロジェクトライフサイクルの途上で本プロジェクトの施設が陳腐化してしまい、新たな技術による更新が実施されるリスクである。そのような場合にでも、最低限投資回収は終わられるように、投資回収期間は6年程度を目標としている。
- iii) 法務リスクに関しては、JCMが対象とする日本の優れた環境技術の適用が、公営企業の調達要件に従った結果、第3国企業に発注される可能性が挙げられる。当該リスクに対して、円安メリットとJCMによる補助でコストの不利をカバーした上で、調達上の要求性能を入札要件とし、日本製品の採用の必然性を高める方式での発注形態や、日本では定着してきている総合評価方式での発注形態についてPPWSA等のカ国関連機関と協議を行うことで対応する。

2) 内部環境要因

プロジェクトへの投資意思決定には、PPWSAの予算措置が事前に講じられる必要がある。PPWSAの予算年度は暦年(1~12月)であり、2015年度実施は多くの調整を要する。日本国内でのJCMの手続きスケジュールとの間で前後関係が生じ、契約上の支障となる可能性が想定される。この点については、調査実施団体として日本政府及びPPWSA並びにカ国関連機関との連携を密にして、誤解を生じないような対応を取ることで解決できるものと考えている。

⑦その他事業性に係る項目

日本とカ国では JCM に関する署名は 2014 年 4 月 11 日に締結されたばかりであることから、税制に関する調査が必要と考え、下記の調査を実施した。

1) 恒久的施設(Permanent Establishment、以下「PE」)課税の有無とその運用状況

省令の中にいくつか PE に関する記載はあるものの、詳細に記載されている省令は見当たらない。実務上の運営において、PE に相当する企業に対して PE 課税の事例を確認することはできなかった。

2) 促進税制、障害となる税制

現時点では促進税制ならびに障害となる税制に相当するものは見当たらない。現在、カ国では最低賃金等が上昇し、外国企業から各種優遇税制の要望の声が上がっているものの、具体的な対応策はまだ明らかになっていない。

3) 関税、VAT について

カ国関税消費税総局 (General Department of Customs and Excise、「GDCE」)へのヒアリングを行ったが、JCM を利用した物品の輸入に関しては経験がなく、有益な回答を得ることはできなかった。一般的には GDCE に対し、PPWSA から免税措置に関する承認レターを提出して免税申請を行うことで、免税措置を受けることが可能となるようである。

(2)プロジェクト許認可取得

カ国の都市給水事業を所管しているのは、MIH である。プノンペン特別市においては、PPWSA が MIH より水道事業権を得て給水事業を継続中であり、新たな権利の取得は必要ない。

今回のプロジェクトは、一部の老朽化した機器を、より効率の高い機器に更新するものであり、新たに必要となる許認可として環境アセスメントが考えられたが、PPWSA へのヒアリングにより不要と確認されている。

実際には、本プロジェクトの投資内容が明らかになった段階で、MIH 水道部等と協議のうえ、通常の手続きを進めることになる。

(3) 日本技術の優位性

① 配水ポンプおよびインバータ

1) 配水ポンプ

水道の配水ポンプは、その使用条件に合わせて製造され、高性能であるとともに、長期間の使用に耐える堅牢性、耐久性も求められる。

ホスト国の浄水場においては、調査したところ日本、欧米、中国、韓国等、多くの国の製品が導入されている実態を確認した。

日本製のポンプと公表されている外国製のポンプ（口径 250mm、Ns280）の最高効率の比較では、日本製 87.9%、外国製 A 社（ベトナム国製造）84.0%、外国製 B 社（中国製造）86.4%の結果が示されており、日本製は性能面において高効率であり、省エネルギーを実現している。

今回対象としているプンプレック浄水場、チャンカーモン浄水場においては、配水ポンプ設備の大部分を日本製（㈱クボタ・㈱荏原製作所）で占めており、10年以上経過するなかで故障もなく稼働していることを確認するとともに機能面においても導入時点から殆ど変化していない状況を確認している。

エンドユーザーのヒアリングにおいても、中国製等で数年、欧米製でも 10 数年で故障を来たすケースがあるとのことであり、稼働実績にもとづいた耐久性、効率性等、日本製品の高品質を高く評価していることを確認した。

日本製品は、外国製品と比較して高価格設定となっているが耐用年数等を考慮したライフサイクルコストで評価すれば、初期投資が嵩んでも、外国製品と比較して割安となるメリットが考えられる。

よって、品質面をベースにしたトータルコスト比較で外国製品より優位性を実証すれば採用されるものと考えられる。

2) インバータ

日本のインバータ技術は、省エネルギー技術の急速な進歩の中、技術開発を活発に進め、世界のリーディングカンパニーとしての位置を歩んでいる。

ある主要メーカーは、1968年に世界初となるサイリスタインバータ（整流形）を開発して以来、1974年に世界初となるトランジスタインバータ（アナログ）の製品化に成功した。その後もデジタル制御、低騒音型、ベクトル制御の汎用インバータ、等世界初となる製品を継続的に開発しており、エンコーダレスでもゼロ速高トルクを実現するなど革新的な技術を有している。

また、直列多重高圧インバータと低圧インバータを融合した高圧インバータを開発し、広い回転域で約 97%の高い電力変換効率、電源力率 0.95（定格負荷時）を

達成しており、効率・省エネ性能の分野で世界をリードしている。

機器のダウンサイジング化も進んでおり、140A (1, 200kw/6kv) クラスの普及型製品においては、ドイツの Siemens 社製品と比較して 43%の世界最小を実現し、効率・省エネルギー性能の分野で世界をリードしている。

また、回転子に永久磁石を使用した同期モーターの開発により、インバータとの組み合わせにおいて大幅な省エネルギー化が可能となっている。

インバータは、機器の高効率化及び特性改善によって更なる省エネルギー化を図り、スーパー省エネタイプの新しい技術が開発されている。

その一つが構成部品の低損失化であり、約 10 年前の機器と比較して、主回路スイッチング素子である IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の損失発生率が 60%以上占めていたが、素子パターンの改善により 40%強に減少している。

もう一つは、インバータ出力電圧波形の改善により、サージ抑制フィルタを必要としない制御方式 (3 レベル制御) が可能になり、軸電流の低減を図っている。

さらに、新しい電力変換装置 (マトリックスコンバータ) は、従来の交流-直流-交流の変換から、交流-交流の直接変換を行うことにより、主回路コンデンサーが不要となる等、より小型化が可能となり環境にやさしい技術が実現している。

零速での負荷電流低減率の比較においては、最新のマトリックスコンバータが 70%、国内外の従来製品である電源回生機能付きインバータは 50%と、負荷電流が 20%改善されている。

以上の点からも外国製品と比較して、日本製品が高効率で高品質な省エネルギー機器であることが証明されている。

調整・保守作業の点においてもユーザーをサポートするインターフェースを実装しており、維持管理性の面でも高い技術を保有している。

日本のインバータは、安価な外国製品と比較して、品質面では決して劣ることはなく優位にあるものと考えられる。日本製品は、外国製品と比較して高価格設定となっているが耐用年数等を考慮したライフサイクルコストで評価すれば、初期投資が高んでも、外国製品と比較して割安となるメリットが考えられる。よって、品質面をベースにしたトータルコスト比較で外国製品より優位性を実証すれば採用されるものと考えられる。

②変圧器

日本では、地球温暖化防止の政策の一環として、エネルギー使用の合理化に関する法律 (以下、省エネ法) において、エネルギー消費機器の効率向上のため、対象機器を特定し、達成すべき「エネルギー消費効率」の目標基準値と目標年度を示して、その製造者等に守らせる制度であり、目標基準値は既存の製品で最も効率の良い製品をもとに決められることから「トップランナー方式」と呼ばれている。

配電用変圧器も、省エネ法の特定機器に指定され、省エネの目標基準を達成することが義務付けられており、この基準値を満たした変圧器を「トップランナー変圧器」と呼んでいる。

日本では省エネルギー基準を反映し、2002年12月に告示された「第一次判断基準」でエネルギー消費効率の目標基準値が新たに規定され、2006年度から油入変圧器、2007年度からモールド変圧器が規制対象となり、JIS規格は2005年に改正された。

2012年3月には「第二次判断基準」が告示、目標基準値が見直され、JIS規格は2014年に改正された。これにより2014年4月から「第二次判断基準」を達成した「トップランナー変圧器 2014」への切替えが行われ、日本国内では旧基準の変圧器は販売されていない。

JIS-C4304に規定されている、変圧器特性の主な定義を表9、変圧器のエネルギー消費効率（全損失）の基準式を表10に示す。

表 9. 変圧器特性の主な定義

無負荷損 (no-load loss)	一つの巻線に定格周波数の電圧を印加し、他の巻線を閉路としたときに消費される有効電力。
負荷損 (load loss)	一方の巻線を短絡して、他方の巻線に定格周波数の電圧を印加し、電流を通じた場合に消費される有効電力（損失）。負荷損は、指定された基準巻線温度に補正した値で表す。
効率 (efficiency)	定格二次電圧および定格周波数における有効出力と変圧器の損失から、以下で表す。 $\text{効率} = \text{有効出力} / (\text{有効出力} + \text{無負荷損} + \text{負荷損}) \times 100 (\%)$

(出典) JIS 規格

表 10. 変圧器のエネルギー消費効率（全損失）の基準式（Sは変圧器の定格容量（kVA））

Type	Category			Top Runner Target Standard Value
	Phases	Freq.	Capacity	
Liquid-filled	Single	50Hz	≤ 500 kVA	$E = 11.2 \times S^{0.732}$
		60Hz	≤ 500 kVA	$E = 11.1 \times S^{0.725}$
	Three	50Hz	≤ 500 kVA	$E = 16.6 \times S^{0.696}$
			> 500 kVA	$E = 11.1 \times S^{0.809}$
		60Hz	≤ 500 kVA	$E = 17.3 \times S^{0.678}$
			> 500 kVA	$E = 11.7 \times S^{0.790}$
Encapsulated-winding	Single	50Hz	≤ 500 kVA	$E = 16.9 \times S^{0.674}$
		60Hz	≤ 500 kVA	$E = 15.2 \times S^{0.691}$
	Three	50Hz	≤ 500 kVA	$E = 23.9 \times S^{0.659}$
			> 500 kVA	$E = 22.7 \times S^{0.718}$
		60Hz	≤ 500 kVA	$E = 22.3 \times S^{0.674}$
			> 500 kVA	$E = 19.4 \times S^{0.737}$

(出典) 超高効率機器の普及イニシアチブ (Super - Efficient Equipment and Appliance Deployment:SEAD) 各国トランス効率基準等の調査レポート 2013
<http://www.superefficient.org/Products/Distribution%20Transformers/Distribution%20Transformers%20Report.aspx>

変圧器の性能向上の施策を主要国間で比較した調査結果を図 14 及び図 15 に示す。

日本のトップランナー基準値はトップクラスであり、日本製品の導入は GH 削減に貢献できる。

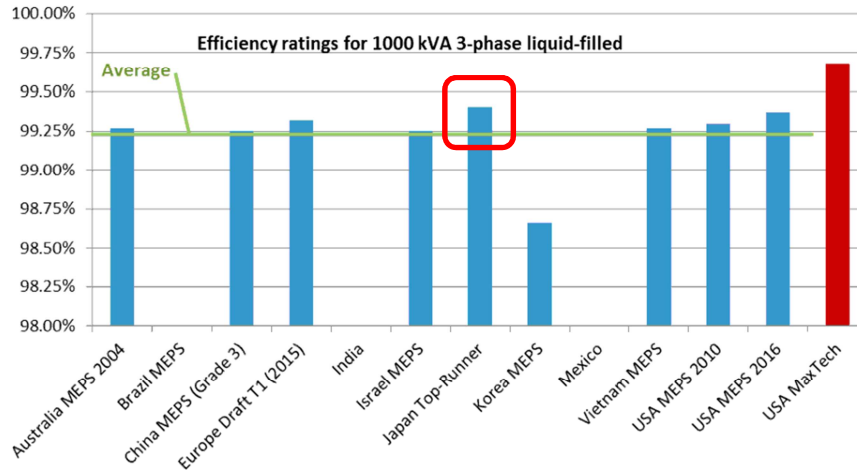


図 14. 1000kVA 3 相油入変圧器の 50%負荷での効率比較

(出典) 超高効率機器の普及イニシアチブ (Super - Efficient Equipment and Appliance Deployment:SEAD) 各国トランス効率基準等の調査レポート 2013 <http://www.superefficient.org/Products/Distribution%20Transformers/Distribution%20Transformers%20Report.aspx>

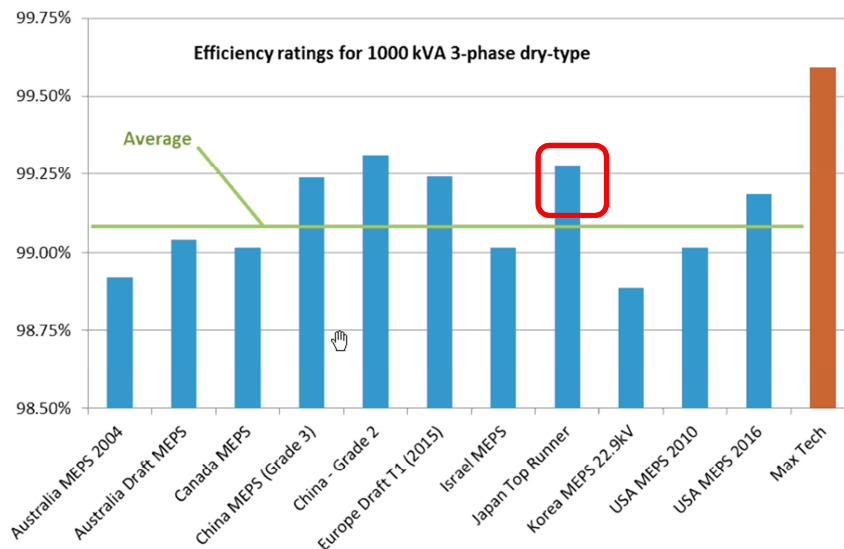


図 15. 1000kVA 3 相モールド変圧器の 50%負荷での効率比較

(出典) 超高効率機器の普及イニシアチブ (Super - Efficient Equipment and Appliance Deployment:SEAD) 各国トランス効率基準等の調査レポート 2013 <http://www.superefficient.org/Products/Distribution%20Transformers/Distribution%20Transformers%20Report.aspx>

トッランナー変圧器 2014 は、旧基準製品より 10～36%の省エネ化が図られた。変圧器の省エネ化は、導体断面積拡大、鉄心断面積拡大といった手段により可能ではある。しかし、省資源化の観点、需要家の変圧器小型軽量化要求の観点から、製品寸法・質量の増加は最小限とすべきである。トッランナー変圧器 2014 では、省エネ設計に伴う外形寸法、質量の増加を最小限にするべく、以下の改良技術が採用されている。

1) 耐熱絶縁紙の採用

トッランナー変圧器 2014 の油入変圧器では、耐熱性に優れた絶縁紙を採用することにより、従来よりも 10K 高い油 60K、巻線 65K としている。温度上昇限度を高くすることにより、巻線の占積率向上による小形化と、外箱の放熱構造簡素化による変圧器本体の床面積縮小を可能としている。

2) 鉄心技術の改良

変圧器の高効率化は、常に一定して発生している無負荷損の低減のため、鉄心材料、電磁鋼板の改良が不可欠である。

低損失の鉄心材料には、結晶方位性を高めた高磁束密度方向性電磁鋼板、電磁鋼板表面に溝加工を施し磁区を細分化した磁区制御方向性電磁鋼板等が実用化され、これらは省エネ化による外形寸法・質量の増加の抑制に貢献している。

より低損失の材料としては、結晶構造を持たないため磁気特性が良いアモルファス合金があるが、これは鉄心の断面積や巻線数が増えるため外形寸法・質量が増加するというデメリットがある。

③ホスト国における現在の市場、競合

1)ポンプ

本調査において、PPWSA が所有する 4 つの浄水場のポンプを調査した結果、クボタ製がほとんどで、その他一部は、荏原製作所製、Peme Gourdin (アルジェリア) 製などであった。また、現地の取扱業者にヒアリングを行ったところ、上記の PPWSA の浄水場以外では、鶴見製作所、Grundfos (デンマーク) などのポンプも使われている。なお、市場占有率などに関する統計的な情報は確認できなかった。

2)インバータ

インバータは、ポンプの回転数を制御し、圧力損失低減による省エネルギーを実現するものであり、その結果、給水塔設備が不要になるなどのメリットがある。浄水場の大型ポンプ用途のインバータは、ポンプメーカーとは別メーカーが製造するケースがほとんどである。PPWSA の浄水場では、ニロート浄水場及びチュロイチャンワ浄水場の両浄水場でポンプのインバータ化が実施されている。いずれも日本あるいはフランス政府による ODA によって設置されたもので、インバータは ABB（スイス）製であった。カ国のその他の浄水場については、インバータ化されているケースはほとんどない。

なお、近年のプノンペン特別市における建設ラッシュに伴い、ビルにおける配水設備としてインバータ付ポンプの需要拡大が、今後見込まれている。

3)変圧器

PPWSA が所有する 3 つの浄水場について、設置されている変圧器を調査した結果、ABB（スイス）製が最も多く、その他、高岳製作所製、Thibidi（ベトナム）製、Alstom（フランス）製、Minel-trafo mladenovac（ユーゴスラビア）製などが確認できた。また、取扱業者へのヒアリングにより、価格の安さから、Tira Thai 及び Precise（共にタイ）製、Thibidi 製の変圧器の導入事例が多いことが分かった。なお、変圧器についても、市場占有率などに関する統計的な情報の存在は確認できなかった。

グリッドに接続する特高変圧器の導入は、カ国では EDC の承認が必要であり、EDC の変圧器調達仕様書には、ABB 製、Schneider Electric（フランス）製、GE（米国）製及び Thibidi 製が指定されている。EDC へのヒアリングの結果、EDC が承認した変圧器で導入されているものとしては、ABB 製が最も多いことが分かった。

(4)MRV 体制

プロジェクト対象となる PPWSA 所有のプンプレック浄水場及びチャンカーモン浄水場に関する MRV 体制の調査を行った。現状では、GHG 排出削減量の計算に必要な、配水ポンプ及び変圧器に関する電力消費量、電流値、流量値などの計測及び記録をモニタリング担当者が行っている。プンプレック浄水場及びチャンカーモン浄水場共に、モニタリング担当者は、4 人体制である。そして、これをモニタリング責任者と JCM プロジェクト総責任者がダブルで確認・承認している（図 16 参照）。本プロジェクト実施の際は、現状のモニタリングに、GHG 排出削減量の計算に必要なモニタリング項目の一部と GHG 排出削減量の計算作業が追加されるが、現状の本体制をそのまま活用することで、実行可能であることを確認した。

GHG 排出削減量を計算する際に必要となるグリッドの排出係数については、MOE よ

り公表されるプノンペン地区の排出係数を適用する。現時点での最新版は2010年に公表されたものであるが、これが2015年初めに更新される予定である。更新は約3-4年ごとに行われるため、モニタリング担当者は随時最新情報を収集・適用する。

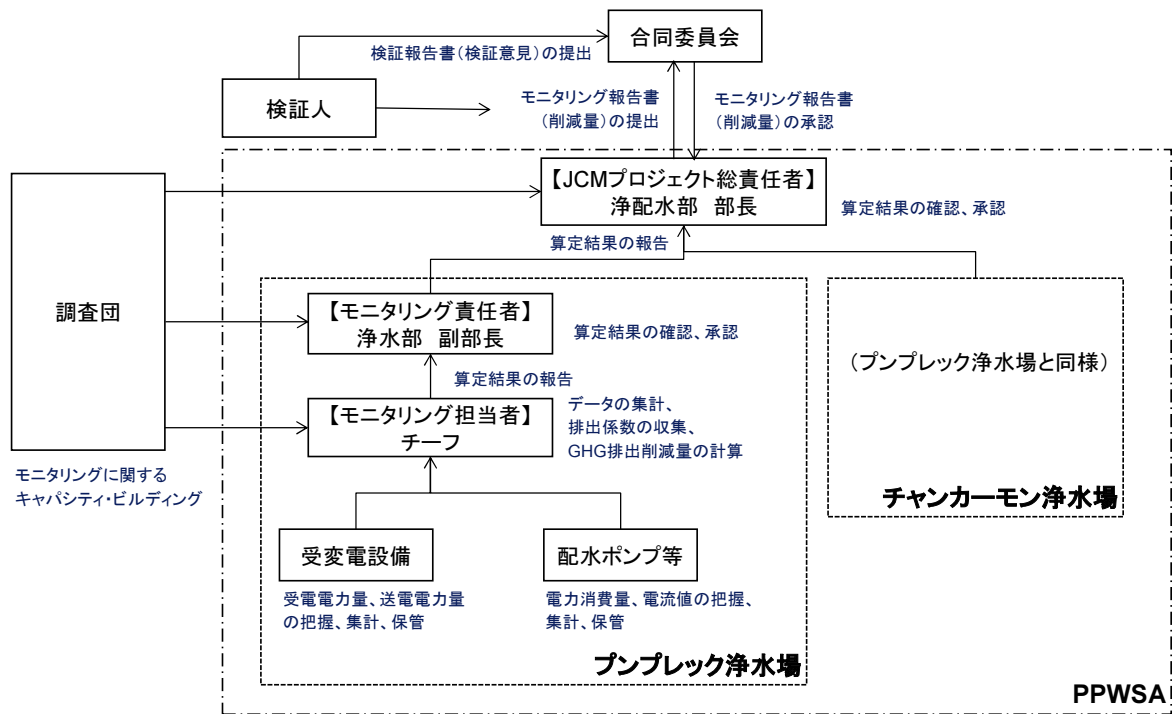


図 16. MRV 実施体制図

収集したデータの記録・保管について、現状では、図 17 に示すように、運転現場の担当者が紙ベースの管理表に手書き・保管した後、一部をパソコンに入力して電子データ化し（図 18 参照）、上位者が確認している。しかし、紙ベースの管理表の文字がクメール数字で記入されているため、クメール語が分からない調査団がチェックできないなどの問題がある。プロジェクト実施においては、必要な箇所は英語訳を併記、または、アラビア数字にて記載する予定である。

ធានាគុណភាពសិកម្ម និងផ្គត់ផ្គង់ទឹក **គំនរកំហែងស្ថិតិភាគរួម** ភ្នំពេញ, ថ្ងៃទី ០៧ ខែ ០៣ ឆ្នាំ ២០១៨

m/ស.ក-៣៦៦០៣០៣២២

ថ្ងៃ	BT		បូមទឹកទន្លេ				បូមទឹកស្រោច						សំណាក/កំពស់ទឹក		ប្រមាណទឹកទន្លេ		ប្រមាណទឹកស្រោច	
	V	A	PB1	A	PB2	NPD1	NPD2	NPD3	bar	LI	DM	CEB	DM	CEB	m	m ³ /h	m ³ /h	m ³
0	390	95	2.0				130	4.4		4.9	2.65	487	700516160	490			5793698	
1	390	95	2.0				138	4.4		4.8	2.65	483	700516615	460			5794445	
2	390	95	2.0				130	4.4		4.8	2.65	489	700516090	464			57944616	
3	390	95	2.0				130	4.4		4.8	2.65	488	700516585	465			57950720	
4	390	95	2.0				130	4.4		4.8	2.65	484	700516055	450			5795512	
5	390	95	2.0				132	4.4		4.8	2.65	482	700516855	455			5795999	
6	390	95	2.0				130	4.4		4.8	2.65	480	700516799	455			5796446	
7	390	95	2.3				138	4.3		4.8	2.65	482	700516460	501			5796901	
8	390	95	2.3				138	4.4		4.8	2.65	486	700516924	494			5797407	
9	390	95	2.3				138	4.4		4.7	2.61	488	700516904	494			5797888	
10	390	95	2.3				138	4.4		4.7	2.57	487	700516724	488			5798376	
11							510	11.05										
12	390									4.7	2.98	465	70051083					
13	390	95	2.3						4.8	3.72	443	70051317						
14	390	95	2.3						4.9	3.13	445	70051724	456			5798738		
15	390	95	2.3						4.9	2.84	460	70052160	445			5799275		
16	390	95	2.3						4.8	2.86	469	7005263	447			5799823		
17	390	95	2.3						4.8	2.87	471	70053076	477			5800360		
18	390	95	2.3						4.8	2.84	482	70053580	466			5800907		
19	390	95	2.0						4.9	2.96	485	70054065	472			5801462		
20	390	95	2.0						4.8	2.90	487	70054553	454			5802017		
21	390	95	2.0						4.8	2.96	496	70055021	448			5802580		
22	390	95	2.0						4.8	3.04	495	70055502	458			5803143		
23	390	95	2.0						4.7	3.03	492	70055967	487			5803706		
24	390	95	2.0						4.8	3.03	490	70056466	477			5804270		
សរុប	11 ^h :55+10 ^h :20					10 ^h :05+11 ^h :00								10306		9992		
សរុបរួម	22 ^h :15					21 ^h :05								10306		9992		

អំណាចលេខអាជ្ញាប័ណ្ណអគ្គិសនីសេវាសាម៉ាង ២៨០០

លេខគ្រឿងប្រដាប់	លេខគ្រឿងប្រដាប់	លេខគ្រឿងប្រដាប់	លេខគ្រឿងប្រដាប់
កម្រិតទឹកស្រោច (ម.គីឡូម៉ែត្រ)	2845	60,458	60,462
កម្រិតទឹកស្រោច (ម.គីឡូម៉ែត្រ)	3297	61,291	61,335
កម្រិតទឹកស្រោច (ម.គីឡូម៉ែត្រ)	856	61,508	61,509
កម្រិតទឹកស្រោច (ម.គីឡូម៉ែត្រ)	190	4,442	4,443
អគ្គិសនី	(16.50 + 16.80) kWh		

សរុប **3280**

图 17. 紙の運転管理表 (チャンカーモン浄水場)

ល.រ	ថ្ងៃ ខែ ឆ្នាំ	បរិមាណទឹកផលិត		ការប្រើប្រាស់វត្ថុធាតុដើម			ផ្សេងៗ
		ទឹកល្អក់ (m³)	ទឹកស្អាត (m³)	សាច់ដុំ (Kg)	PAC (Kg)	ក្លរ (Kg)	
1	01-Oct	13,980	14,130	350	0	27	3,765
2	02-Oct	14,004	13,533	350	0	28	3,761
3	03-Oct	12,089	11,414	350	0	21	3,163
4	04-Oct	11,670	11,930	350	0	22	3,203
5	05-Oct	14,450	13,680	350	0	27	3,725
6	06-Oct	13,222	13,138	350	0	24	3,598
7	07-Oct	13,825	13,387	350	0	24	3,704
8	08-Oct	12,030	11,710	300	0	23	3,260
9	09-Oct	13,040	13,380	350	0	25	3,660
10	10-Oct	13,541	13,465	350	0	26	3,706
11	11-Oct	13,960	13,580	350	0	26	3,694
12	12-Oct	14,040	13,640	350	0	27	3,717
13	13-Oct	14,260	13,750	200	0	29	3,755
14	14-Oct	13,896	13,421	150	0	31	3,723
15	15-Oct	12,520	12,350	150	0	29	3,454
16	16-Oct	13,440	13,420	150	0	31	3,705
17	17-Oct	13,880	13,820	150	0	31	3,810
18	18-Oct	10,022	9,670	150	0	24	2,754
19	19-Oct	13,890	13,400	150	0	33	3,684
20	20-Oct	14,010	13,130	-	75	33	3,749
21	21-Oct	13,850	13,460	-	150	31	3,740
22	22-Oct	13,504	13,192	-	50	32	3,664
23	23-Oct	13,340	13,320	-	100	31	3,661
24	24-Oct	13,910	13,350	-	50	32	3,764
25	25-Oct	13,790	13,590	-	100	32	3,745
26	26-Oct	13,476	13,360	-	50	32	3,710
27	27-Oct	13,690	13,305	-	100	32	3,672
28	28-Oct	13,520	12,965	-	50	32	3,692
29	29-Oct	13,972	13,350	-	100	32	3,715
30	30-Oct	13,780	13,371	-	50	32	3,710
31	31-Oct	13,700	13,320	-	100	32	3,674
សរុប		416,311	406,531	5,250	975	891	112,337
តិចមធ្យមថ្ងៃ		13,429	13,114	276	81	29	3,624

កំណត់: ថ្ងៃទី ០៣ ខែ វិច្ឆិកា ឆ្នាំ ២០១៤
ប្រធានរោងចក្រ

図 18. 電子データ化された運転管理表（チャンカーモン浄水場）

(5) Host country's environmental soundness assurance and contribution to sustainable development

This project is implemented by PPWSA as the main contractor, aiming at the high efficiency of water treatment equipment in Chanayethazan Water Treatment Plant and Chanayethazan Water Treatment Plant, resulting in energy saving and GHG emission reduction.

The target water treatment equipment includes power equipment and pump equipment. As these equipments are mostly installed in the 1990s, they are aging and need to be replaced. By replacing them, the performance can be improved.

Environmental impact assessment (EIA) is conducted for land use change, construction of new facilities, etc. The contractor is responsible for conducting the assessment.

予測、評価を行い、その結果に基づいて環境保全措置を検討し、その事業計画を環境保全上より望ましいものとしていくものである。

カ国においては、環境関連の主要な法規・法令として、1996年発令の「環境保護と自然資源管理に関する法律」がある。個別の法令としては、「固形廃棄物の管理に関する政令」（1999年）「水質汚染管理に関する政令」（1999年）、「大気汚染と騒音公害の管理に関する政令」（2000年）などが制定されている。

環境影響評価に関しては1999年に「環境負荷手順の実施に関する政令」が施行されており、本政令にて、環境負荷評価を必要とするプロジェクトの業種・内容・規模が規定されている。

水道事業に関しては、1日1万人以上の水供給開発プロジェクトが対象となっている。今回のプロジェクトは、PPWASAの水供給事業において、通常業務として計画的に行っている機器の更新・改善業務を省エネルギー化ならびにGHG排出削減を図る観点から実施するものであり、環境負荷調査を必要とするプロジェクトには該当しない案件である。

このことから、事業の実施にあたっては、環境影響評価等の許認可を取得する必要性はなく、PPWASAの業務責任者とのヒアリングにおいても、過去に同様な工事を行った際も実施しておらず、新たな環境影響に係る調査の実施は不要であるとの見解を聴取した。

本プロジェクトは、GHG排出削減という環境面でプラスの効果を発揮するものであるが、本プロジェクト実施に伴う環境面での好影響の担保、および悪影響の回避のための措置として下記が挙げられる。

好影響の担保

カ国政府が2003年に発表した「全ての国民が安全な水供給を受け、衛生施設を有し、安全で衛生的かつ環境に適応した生活環境を享受することができる」水供給および衛生に関する基本方針の推進にも寄与する。また、省エネルギー化等により水道水の生産コスト低減が図られることとなり、安価な水道水の供給により市民生活の改善に貢献できる。

悪影響の回避

今回のプロジェクトは、取水場および浄水場の設備更新である。工事場所は、市民生活と隔離された取水場、浄水場等のPPWASA管理敷地内であり、騒音・振動等工事に伴う負の影響は、限定的と考えている。PPWASAは、設備更新により撤去された変圧器、モーター、ケーブル等の機器類を維持管理上の非常用予備品として、保管責任者を定め責任を持って保管することを確約したうえ引き渡すこととしており廃棄物の発生を極力抑制させる仕組みを考えている。

また、瓦礫等の一般廃棄物については、カ国の代表的廃棄物処理業者に処分を依頼することとしており、不法投棄を防止する。

なお、将来、処分が必要となった撤去品、特に、一部変圧器には有害物資が含ま

れている可能性が考えられるため、プノンペン市公共事業運輸局（Department of Public Works and Transport、「DPWT」）が管理する、廃棄物処理に関する規制・法律の整備状況を注視しながら適切に処分することとしており、悪影響は回避できるものと考えている。

(6) 今後の予定及び課題

2015 年度における設備補助事業に向けて、現在 PPWSA と投資意思及び予算化について継続協議中である。第 5 回現地調査にて PPWSA と協議を行い、2015 年 3 月末に開催される PPWSA の取締役会（4.（1）③プロジェクト実施主体の経営体制・実績参照）において、調査団からプロジェクトの説明を行うことになった。PPWSA 総裁からは取締役会にて本プロジェクトへの投資検討を行うにあたり、PPWSA におけるメリット、事業収益性評価、スケジュール、プロジェクト実施体制等の再説明が求められている。従って本プロジェクトの有益性を再度明確にした上で、プロジェクト実現に向けて PPWSA と引き続き協議を行う。

PPWSA の調達法は原則的にカ国の調達法に則り、入札を経る必要がある。一方、PPWSA からは、日本とカ国の政府間レベルで入札回避の合意形成が実現されれば、随意契約等の可能性が示唆されている。従って、入札回避の方法について、調査継続を予定している。また入札が不可避の場合、調達上の要求性能を入札要件とすることで、日本製品の採用の必然性を高める方策や、入札参入条件の設定について調整を行う方針とする。

2015 年度のプロジェクト実現に向けて国際コンソーシアムの結成についても調整を行う必要がある。土建・機電工事が可能であり、施工品質面も担保可能な現地企業として、PPWSA の子会社である Water and Sanitation Service Subsidiary 社等を想定している。本内容についても、上述の取締役会にて説明、協議を予定している。

今後のスケジュール案は図 19 の通りである。図 19 では設備補助事業への申請について、2015 年度の 2 次公募への申請を案 1、2016 年度の公募への申請を案 2 としている。

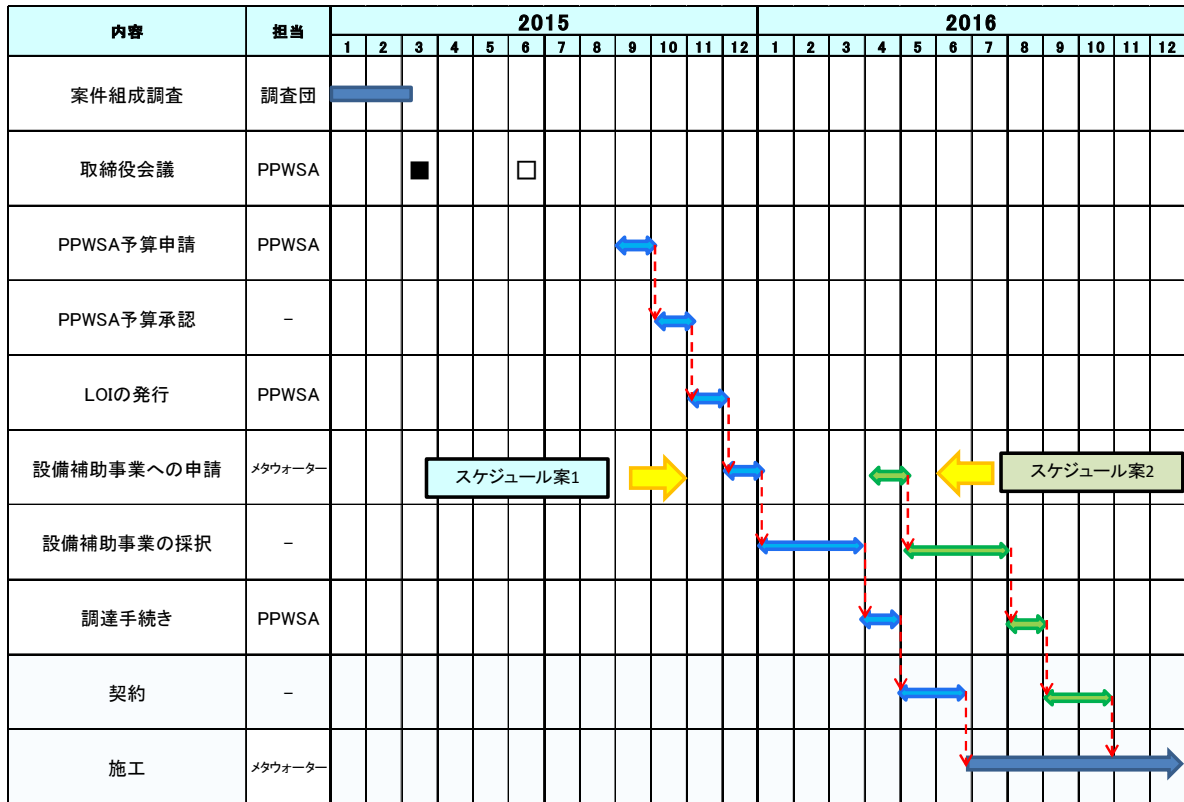


図 19. スケジュール案

5. JCM 方法論作成に関する調査

本調査では、下記に示す 3 つの省エネルギー手法について、JCM 方法論を作成した。

A.	ポンプのインバータ化による省エネルギー	インバータの追加によりモーターの回転数を制御
B.	浄水場－取水場間の送電ロス低減	取水場の受電方式をグリッドからの直接受電に変更
C.	高効率変圧器の導入による省エネルギー	変圧器を高効率変圧器に更新

(1) 適格性要件

A. ポンプのインバータ化による省エネルギー

本調査にて開発するポンプのインバータ化による省エネルギーに係る方法論は、以下の要件を全て満たすプロジェクトに適用することを想定する。

要件 1	インバータ化されていないポンプをインバータ化するプロジェクトであること。
要件 2	プロジェクトポンプのモーターの容量が 100kW 以上であること。
要件 3	高圧インバータの定格点における電力変換効率が 97%以上、電源力率が 95%以上であること。
要件 4	年間 2 回以上の定期点検を実施する計画を有すること。

要件 1 の設定理由：

インバータ化されていないポンプをインバータ化し、配水流量に応じてモーターの回転数を制御することで、大きな省エネルギー効果が期待できる。一方で、既にインバータ化されているポンプに対して、最新のインバータを導入した場合には、期待される省エネルギー効果は僅かであるため、本要件を設定した。

要件 2 の設定理由：

ポンプ及びポンプの動力源であるモーターの容量により、ポンプの性能特性は変化する。一般的に、機器が大型の方が効率は高くなる。まず、図 20 に示すように、PPWSA が所有するポンプのモーター容量を調査した。本プロジェクトにおいてイン

バータ化対象のポンプは②、③及び④である。その中でモーター容量が最も小さいのは③の 110 kW である。仮にその他のポンプがインバータ化の対象になっても、モーター容量が 110 kW を下回ることはない。モーター容量が極端に小さくなると、ポンプの性能曲線が大きく変わる場合がある。よって、適格性要件 2 により、モーター容量が 100 kW 以上であることを設定した。

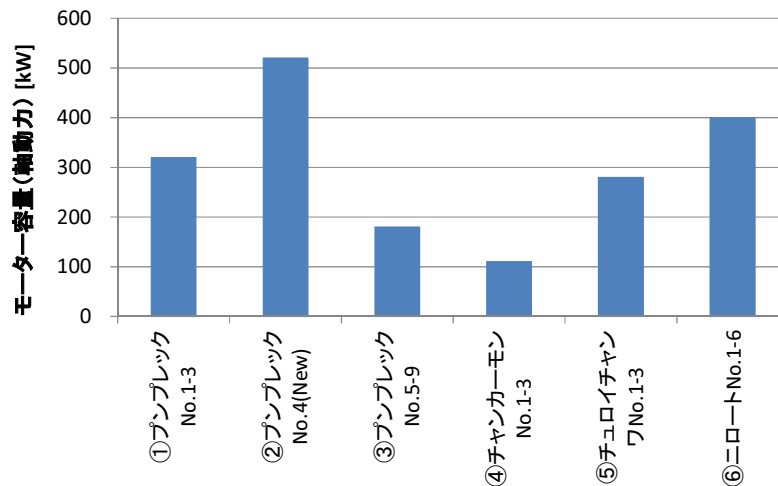


図 20. PPWSA 所有の 4 浄水場におけるポンプのモーター容量

要件 3 の設定理由：

インバータの技術開発において、日本は優位な立場にある。より高効率の日本製機器を導入して、GHG 排出削減効果をより大きくする目的で、本数値を設定した。

インバータの効率および力率特性を図 21 に示す。図 21 は高圧インバータの特性を示しており、プロジェクト実施時に採用予定の日本製のものである。図 21 を見ると、定格点（回転速度が 100 %）における電力変換効率は 97 %、電源力率は 0.95 を維持していることが分かる。この数値を用いて、適格性要件 3 における高圧インバータの効率と力率を設定した。なお、この電力変換効率及び電源力率の算定方法については、規格などは特に設けられていない。

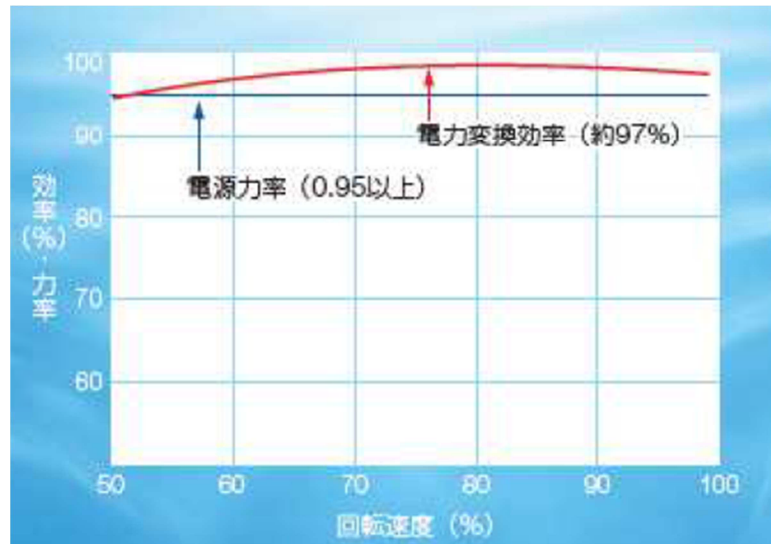


図 21. インバータ（プロジェクト候補）の効率および力率特性
 （出典）安川電機の製品・技術情報サイト（e-mechatronics.com）

http://www.e-mechatronics.com/product/inverter/mv1000/feature/e_saving.html

要件 4 の設定理由：

ポンプのインバータ化による GHG 排出削減効果を維持するためには、定期点検の実施が必要である。インバータの製造業者に定期点検の頻度を確認し、本要件を設定した。

B. 浄水場－取水場間の送電ロス低減

本調査にて開発する浄水場－取水場間の送電ロス低減に係る方法論は、以下の要件を全て満たすプロジェクトに適用することを想定する。

要件 1	浄水場から取水場に自営の送電線を使用して電力供給しているシステムに対して、取水場を個別受電方式に切り替えるプロジェクトであること。
------	---

要件 1 の設定理由：

本方法論は、浄水場－取水場間に自営の送電システムを構築することにより、浄水場から電力供給を受けている取水場を対象としている。このような送電システムが採用されている背景として、停電時に、浄水場に設置した自家発電の電力を取水場に送電する必要があったことが挙げられる。しかし、近年では、グリッドの安定により停電回数が減少し、また、燃料費の高騰から自家発電（主にディーゼル）が運転されなくなっていることから、現状のような送電システムの必要性が小さくなっている。

これに対し、プロジェクトは、受電方式をグリッドからの個別受電に変更することで送電ロス削減し、GHG 排出削減を実現するものである。そのため、本方法論の要件として、個別受電方式に変更するプロジェクトであることを設定した。

C. 高効率変圧器の導入による省エネルギー

本調査にて開発する高効率変圧器の採用に係る方法論は、以下の要件を全て満たすプロジェクトに適用することを想定する。

要件 1	プロジェクト変圧器は、容量が 500kVA 以上 1,000kVA 以下である。
要件 2	プロジェクト変圧器は、定格点における効率が 98.5%以上である。

要件 1 の設定理由：

変圧器の効率は、一般的に、機器が大型の方が効率は高くなる。PPWSA が所有する浄水場の変圧器の内、今回プロジェクト対象となる変圧器を選定し、本数値を設定した。

PPWSA が所有するポンプレック浄水場及びニロート浄水場に導入されている変圧器と、EDC が推奨する製造業者の変圧器について、効率に関する情報を収集した。また、ポンプレック浄水場の 2 つの変圧器については、実測を行った。本調査で得られた変圧器の効率情報を図 22 に示す。

図 22 に示すように、変圧器の容量が大きくなるにつれて、変圧器の効率が高くなる傾向にあることが確認できる。GHG 排出削減量の計算に変圧器の効率を用いるため、効率に影響を与える変圧器容量の範囲を設定する必要がある。本プロジェクトでの、更新対象である既設の変圧器容量は 750 kVA であるが、新規に導入する変圧器容量は多少変わることが予想されるため、本適格性要件において、500 kVA 以上 1,000 kVA 以下と設定した。

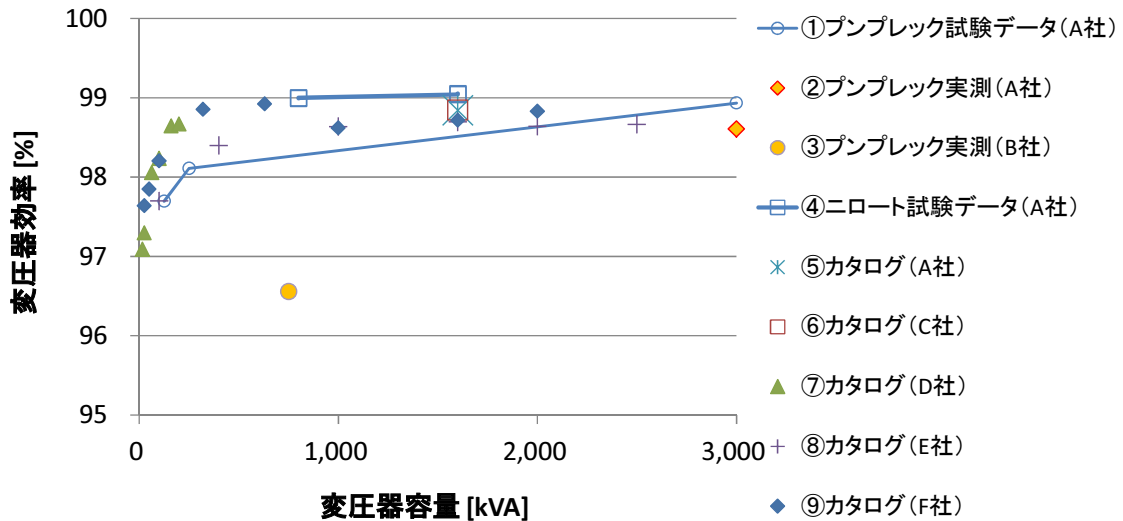


図 22. 変圧器容量と変圧器効率の関係

要件 2 の設定理由：

PPWSA が所有する 3 つの浄水場の変圧器と、EDC が推奨する製造業者の変圧器効率を調査し、変圧器容量と効率の関係性を求めた。そして、本プロジェクトで更新対象となる変圧器容量範囲におけるリファレンス効率を求めた。なお、カ国において、グリッドと接続する変圧器については、EDC が推奨する製造業者のものを使用し、かつ、EDC が指定する仕様を満たしていなければならない。

次に、本プロジェクトで導入予定である日本製変圧器を調査した。カ国においては、トッランナー制度のような変圧器の効率を規定する法律がないため、日本製のトッランナー変圧器は、GHG 排出削減の観点から、優位であると言える。その意味で、日本製のトッランナー変圧器の性能を適格性要件として設定することが適切であると言える。ここで、プロジェクト実施の際に導入予定であるトッランナー変圧器（モールドタイプ、50 Hz、三相）の効率特性を図 23 に示す。

図 23 より、適格性要件 1 で設定した変圧器容量 500 kVA から 1,000 kVA の範囲において、変圧器の効率は 99.0 % 以上であることが分かる。一方、この日本製の変圧器をカ国に導入する際は、電圧などの仕様を変更する必要がある。この仕様変更の際の効率低下を考慮するために、適格性要件 2 では、定格点の効率が 98.5 % 以上と設定した。なお、この効率の算定方法については、JIS C 4306 にて規定されている。

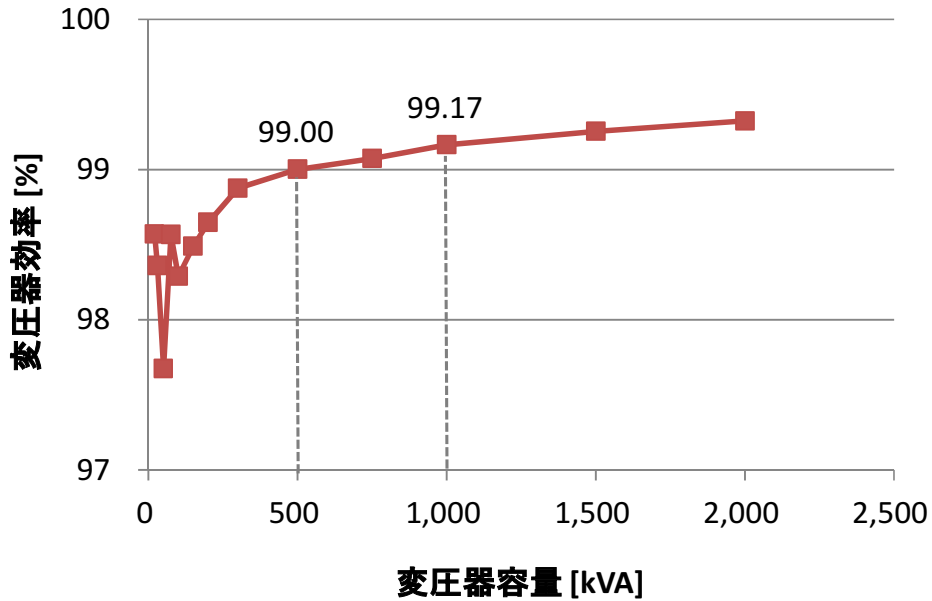


図 23. トップランナー変圧器（プロジェクト候補）の効率特性
 （出典）富士電機の特ランナーモルトラ 2014 カタログ製品・技術情報
 サイト（e-mechatronics.com）

[https://felib.fujielectric.co.jp/download/details.htm?dataid=4418073&site=japan
&lang=ja](https://felib.fujielectric.co.jp/download/details.htm?dataid=4418073&site=japan&lang=ja)

(2)リファレンス排出量の設定と算定、およびプロジェクト排出量の算定

A. ポンプのインバータ化による省エネルギー

本方法論では、リファレンス排出量とプロジェクト排出量との差分をプロジェクト実施による GHG 排出削減量と設定し、以下の式にて算定する。

$$ER_p = RE_p - PE_p$$

ER_p : 排出削減量 [tCO₂/p]

RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]

PE_p : プロジェクト排出量 [tCO₂/p]

カ国内の浄水場においてインバータ化されている配水ポンプの事例が PPWSA の浄水場で数件見られるのみであり、また、これらの事例は日本又はフランス政府の ODA によって設置されたものであることから、カ国内の BAU (Business as Usual) シナリオとしてはインバータ化されない配水ポンプが使用されるシナリオを採用することが考えられる。

リファレンス排出量は、以下の式に示すように、プロジェクトポンプの電力消費

量、プロジェクトポンプに対するリファレンスポンプの電力消費量比の割合と、ポンプで消費される電力の排出係数の積により求める。

$$RE_p = \{EC_{PJ,p} * (P_{REF,LF,p} / P_{PJ,LF,p})\} * EF_{grid}$$

RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]
 $EC_{PJ,p}$: プロジェクトポンプの電力消費量 [MWh/p]
 LF : プロジェクトポンプの運転負荷率 (流量比) [-]
 $P_{REF,LF,p}$: LF におけるリファレンスポンプの電力消費量比 [-]
 $P_{PJ,LF,p}$: LF におけるプロジェクトポンプの電力消費量比 [-]
 EF_{grid} : グリッドの排出係数 [tCO₂/MWh]

$P_{PJ,LF,p}$ と $P_{REF,LF,p}$ は、下記の手順①～⑤にて算定する(図 24 参照)。

①モニタリングした $EC_{PJ,p}$ について、60 分継続して運転した場合は、 $EC_{PJ,p,i}$ として登録する。

$EC_{PJ,p,i}$: プロジェクトポンプの 1 時間あたりの電力消費量 [kWh]

② $P_{PJ,LF,p,i} = EC_{PJ,p,i} / EC_{rated}$ とする。

EC_{rated} : プロジェクトポンプの電力消費量の定格値 [kWh]

③ $P_{PJ,LF,p} = \sum_{i=1}^h P_{PJ,LF,p,i} / h$ とする。

h : プロジェクトポンプが継続して 60 分運転した時間数 [hour]

④ $P_{PJ,LF,p}$ の時のプロジェクトポンプの運転負荷率(流量比)を目視により確認し、 LF とする。

⑤ LF の時のリファレンスポンプの電力消費量比を $P_{REF,LF,p}$ とする。

ここで、図 24 のプロジェクトポンプの性能曲線は、運転負荷率(流量比)が 1 の時、電力消費量比も 1 となるように調整すること。なお、運転負荷率(流量比)及び電力消費量比は、それぞれ、プロジェクトポンプの製造業者が提示する試験データを定格値で割って無次元化したものとする。

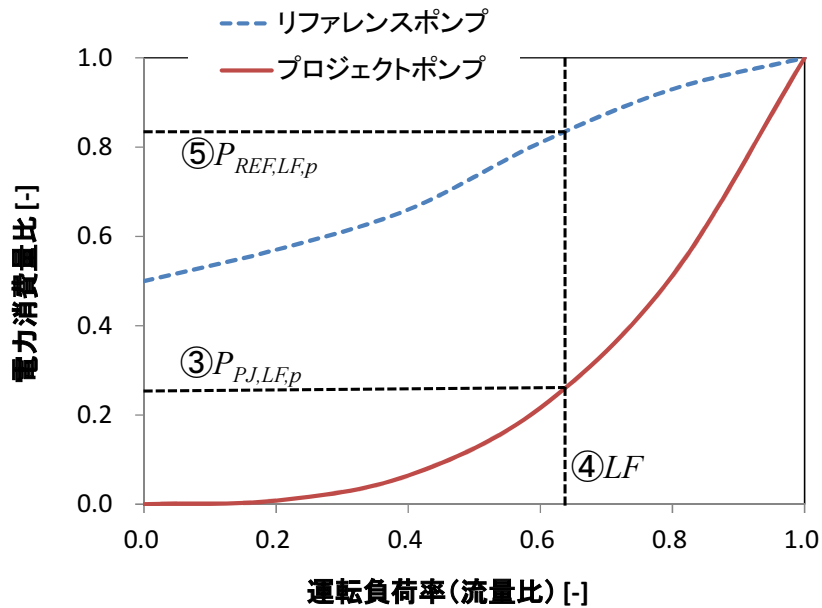


図 24. リファレンスポンプ及びプロジェクトポンプの性能曲線

上記③～⑤において、最初に算定しなければならないのは③ $P_{PJ,LF,p}$ である。④と⑤は、図 24 中のリファレンスポンプ及びプロジェクトポンプの性能曲線が設定されていれば、自動的に算定される。ここで、上記①～③の算定方法を表 11 にて詳細に説明する。

表 11. プロジェクトポンプの電力消費量比 ($P_{PJ,LF,p}$) の算定方法

手順	処理内容	補足
①	プロジェクトポンプの電力消費量(または電流)を 1 時間毎に計測し、60 分継続して運転した場合は、 $EC_{PJ,p,i}$ として登録する。	電力消費量は 1 時間毎の積算値、電流は 1 時間毎の瞬時値とする。
②	手順 1 で計測した 1 時間毎の電力消費量(または電流)を、それぞれの定格値で割ることで、1 時間毎の $P_{PJ,LF,p,i}$ を導出する。	$P_{PJ,LF,p,i}$ は、ポンプが停止している時間を含むデータは全て除外されたものとなる。
③	手順 2 で算定した 1 時間毎の $P_{PJ,LF,p,i}$ (ポンプが停止している時間を含むデータは全て除外) について、プロジェクト対象期間の h で割ることにより平均値を算定し、 $P_{PJ,LF,p}$ とする。	10hour/日で 365 日運転した場合は、 $h = 3,650$ となる。

表 11 の手順①について、モニタリング項目は、基本的に電力消費量とする。理由は、電力消費量の場合、1 時間毎の積算値を計測できるためである。一方、電流の場合は瞬時値

であるため、計測のタイミングにより数値が変動するため計測誤差が大きくなる。

手順②においては、1 時間毎に $P_{PJ,LF,p}$ を導出する。この際、ポンプが停止している時間を含むデータを全て除外する理由は、ポンプが停止している時間は電力消費量が小さくなるため、このデータを用いて平均値を算出すると、 $P_{PJ,LF,p}$ の数値が実際よりも小さくなるためである。

手順③について、例えば、プロジェクト対象期間が 1 年間 8,760 時間、ポンプが運転している時間が 3,650 時間とすると、3,650 個の $P_{PJ,LF,p}$ が導出され、これら 3,650 個の平均値を計算することで、最終的に $P_{PJ,LF,p}$ 算定される。

リファレンス排出量の算定では、電力消費量が BAU シナリオであるインバータ化されない配水ポンプが使用される場合よりも保守的になるようなポンプ特性をもつリファレンスポンプを設定した。具体的には、PPWSA の 4 つの浄水場のポンプを調査し、 $P_{REF,LF,p}$ が BAU に対して保守的になるように設定した。PPWSA は、カ国の中で最も効率的な浄水場を保有する機関であるため、リファレンスの設定対象としては適切であると考ええる。

プロジェクト排出量は、以下の式に示すように、プロジェクトポンプの電力消費量と、ポンプで消費される電力の排出係数の積により算出する。

$$PE_p = EC_{PJ,p} * EF_{grid}$$

PE_p : プロジェクト排出量 [tCO₂/p]

$EC_{PJ,p}$: プロジェクトポンプの電力消費量 [MWh/p]

リファレンス排出量の計算に必要な、リファレンスポンプの性能曲線の設定根拠を下記に示す。

PPWSA が所有する 4 つの浄水場である、プンプレック浄水場、チャンカーモン浄水場、チュロイチャンワ浄水場、ニロート浄水場に実際に導入されている配水ポンプをリファレンス候補として調査した。PPWSA が所有する浄水場はカ国で最大規模であり、最も効率的であるため、GHG 排出削減量の保守性の担保という観点から、これらのポンプをリファレンス候補とすることは適切であると考ええる。調査結果を図 25 および表 12 に示す。図 25 の縦軸は電力消費量比、横軸は運転負荷率（流量比）であり、それぞれ、機器の定格容量で割った値である。

プンプレック浄水場には、No.1-9 の配水ポンプが導入されており、その内 No.1-4 は 320 kW の高圧モーター、No.5-9 は 180 kW の高圧モーターにより駆動されている。なお、No.4 ポンプの更新機器として、2012 年製の新ポンプ 520 kW を調達済みであるが、現時点ではまだ設置されていない。リファレンス候補としてはより最近に製造された方が性能が良く、GHG 排出削減量の保守性が担保できることから、No.4 については、2012 年製をリファレンス候補とした。

チャンカーモン浄水場には、No.1-3 の配水ポンプが導入されており、110kW の低圧モーターにより駆動されている。

チュロイチャンワ浄水場には、No.1-8 の配水ポンプが導入されており、本調査で

は、No.1-3 のポンプ情報を入手できた。これらは、280kW の低圧モーターにより駆動されている。

ニロート浄水場は、一部が現在工事中の最新の浄水場であり、No.1-6 の配水ポンプが導入されている。これらは、400kW の低圧モーターにより駆動されおり、インバータ制御対応であるが、図 25 中の⑥は、インバータ制御を適用していない場合の性能曲線を表す。

これらの調査の結果、GHG 排出削減量の保守性を担保するために、①～⑥のポンプの内、同一運転負荷率における電力消費量比が最も小さい⑥をリファレンスポンプに選定した。

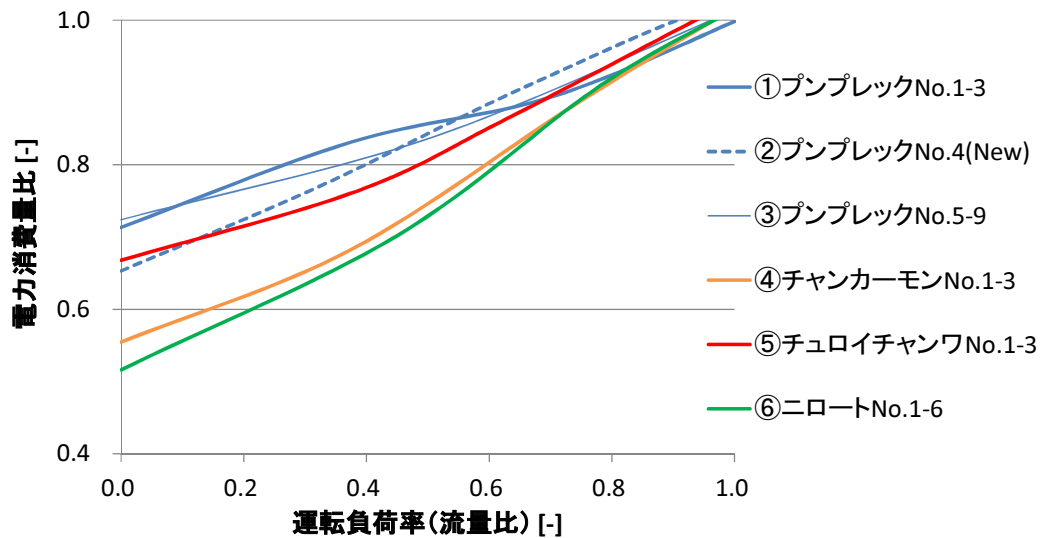


図 25. リファレンスポンプの性能曲線

表 12. リファレンスポンプの仕様

	ポンプ名称	製造年	モータ仕様		備考
			容量[kW]	電圧[V]	
①	ポンプレックNo.1-3	2002	320	3,000	
②	ポンプレック No.4(New)	2012	520	3,000	今後更新予定の新ポンプ
③	ポンプレック No.5-9	1995	180	3,000	
④	チャンカーモンNo.1-3	2007	110	380	
⑤	チュロイチャンワNo.1-3	2007	280	400	
⑥	ニロートNo.1-6	2012	400	400	

B. 浄水場－取水場間の送電ロス低減

本方法論では、リファレンス排出量とプロジェクト排出量との差分をプロジェクト実施による GHG 排出削減量と設定し、以下の式にて算定する。

$$ER_p = RE_p - PE_p$$

ER_p : 排出削減量 [tCO₂/p]

RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]

PE_p : プロジェクト排出量 [tCO₂/p]

カ国内の浄水場の担当者へのヒアリング及び図面の確認を行ったところ、本方法論の対象となるような個別受電方式への変更による送電ロス低減が行われた事例はなかった。よって、カ国内での BAU シナリオとしては、現状の、浄水場から取水場への自営線を使った送電システムが引き続き使用されるシナリオを採用することが考えられる。

リファレンス排出量は、現状のリファレンス受電システムを、個別受電方式であるプロジェクト受電システムに変更した場合に、使用されなくなったリファレンス受電システムの一部である変圧器及び送電線における電力ロスと、グリッドの排出係数との積で求められる。なお、本方法論では、ポンプレック浄水場およびチャンカーモン浄水場を対象とし、それぞれに固有なシステムをリファレンスとして設定する。

(1) ポンプレック浄水場

$$RE_p = (EL_{REF,1,p} + EL_{REF,2,p}) * EF_{grid}$$

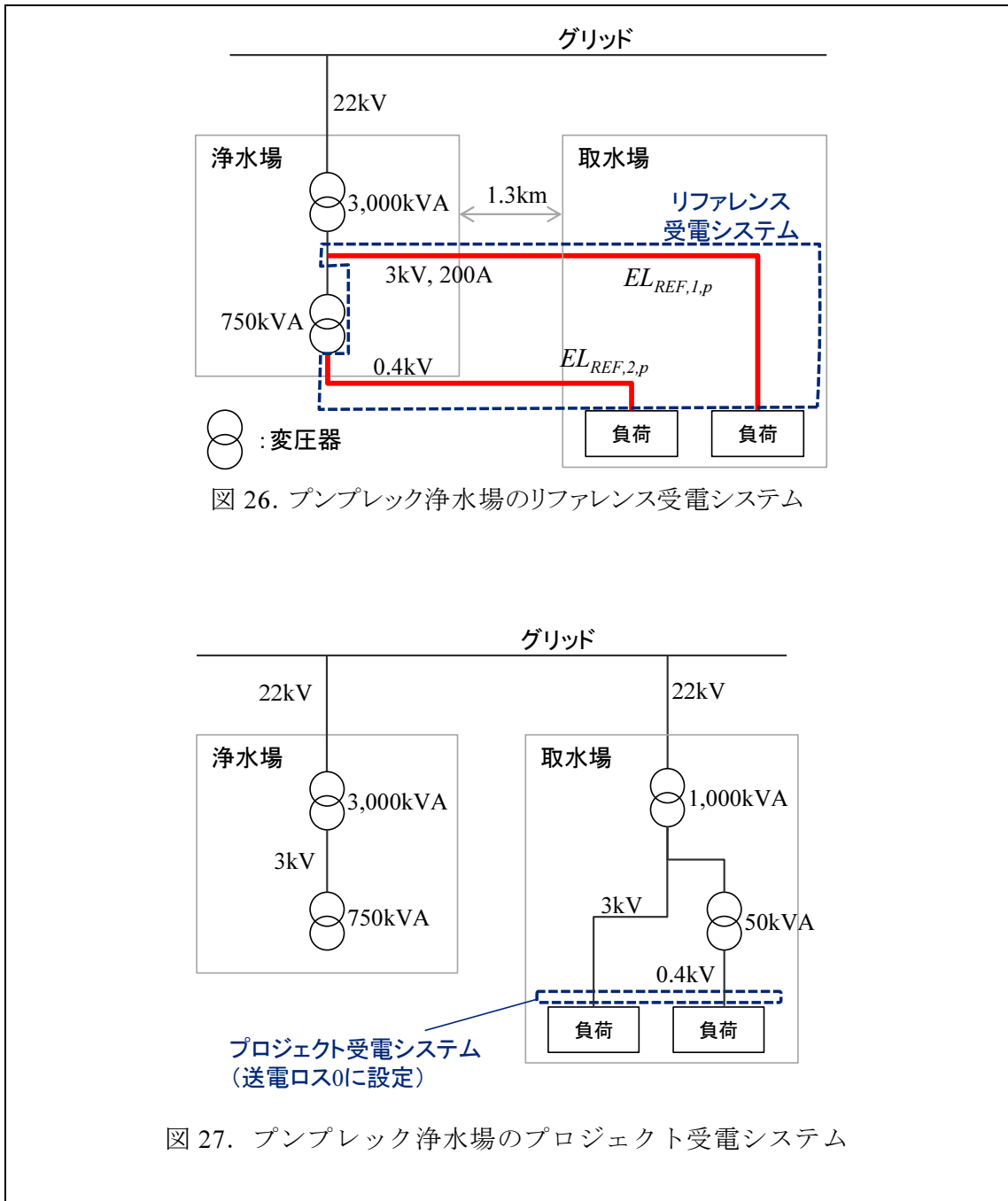
RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]

$EL_{REF,1,p}$, $EL_{REF,2,p}$:

プロジェクトの実施により使用されなくなったリファレンス受電システムの一部における送電ロス [MWh/p] (図 26 の太線部分)

EF_{grid} : グリッドの排出係数 [tCO₂/MWh]

$EL_{REF,1,p}$ 及び $EL_{REF,2,p}$ は、図 26 のリファレンス受電システムと図 27 のプロジェクト受電システムを比較した場合の、受電経路における変圧器および送電線の差分となる。



(2) チャンカーモン浄水場

$$RE_p = (EL_{REF,3,p} + EL_{REF,4,p} + EL_{REF,5,p}) * EF_{grid}$$

RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]

$EL_{REF,3,p}$ 、 $EL_{REF,4,p}$ 、 $EL_{REF,5,p}$:

プロジェクトの実施により使用されなくなったリファレンス受電システムの一部における送電ロス [MWh/p] (図 28 の太線部分)

EF_{grid} : グリッドの排出係数 [tCO₂/MWh]

$EL_{REF,3,p}$ 、 $EL_{REF,4,p}$ 及び $EL_{REF,5,p}$ は、図 28 のリファレンス受電システムと図 29 のプロジェクト受電システムを比較した場合の、受電経路における変圧器および送電線の差分となる。

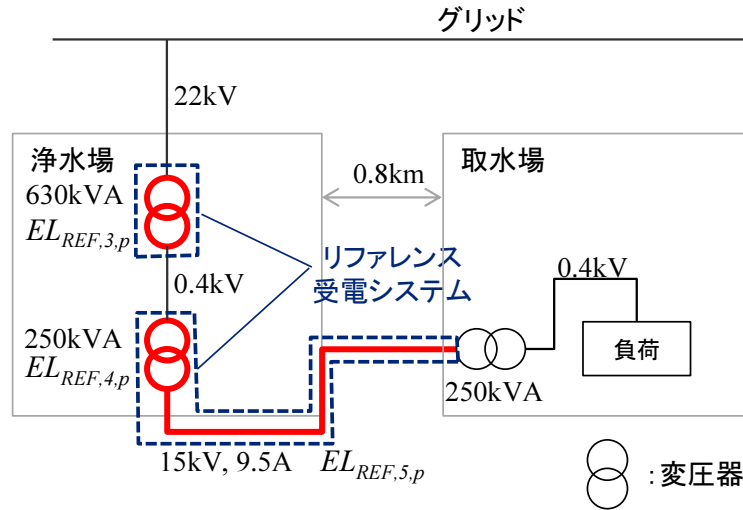


図 28. チャンカーモン浄水場のリファレンス受電システム

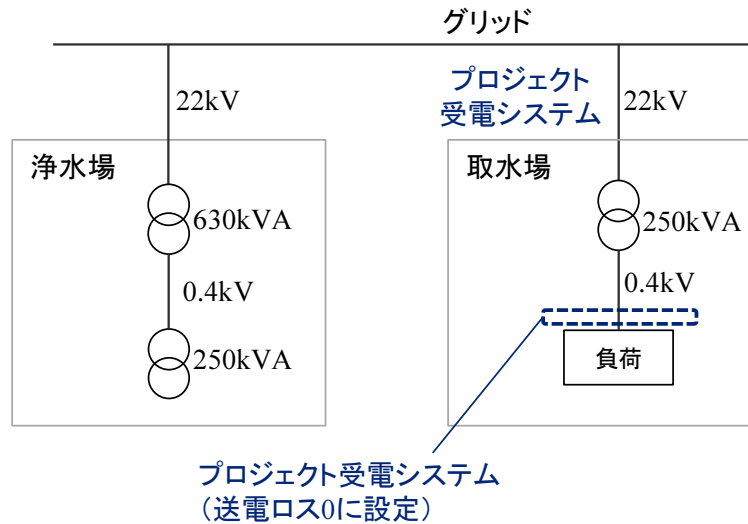


図 29. チャンカーモン浄水場のプロジェクト受電システム

本方法論においては、プロジェクト実施による GHG 排出削減量を、プロジェクト後に使用されなくなったリファレンス受電システムの一部における送電ロスより計算するため、プロジェクト排出量は 0 となる。

$$PE_p = EL_{PJ,p} * EF_{grid}$$

PE_p : プロジェクト排出量 [tCO₂/p]

$EL_{PJ,p}$: 0 MWh/p

EF_{grid} : グリッド排出係数 [tCO₂/MWh]

リファレンス排出量の計算に用いるデフォルト値 $EL_{REF,1,p} \sim EL_{REF,5,p}$ について、設定根拠を下記に示す。

(1) プンプレック浄水場 $EL_{REF,1,p}$ (3 kV 送電線の送電ロス) : 40.2 MWh/p

本数値は、図 29 に示すプンプレック浄水場の実測結果より設定した。図 30 は、プンプレック浄水場の 3kV 送電線について、2014 年 11 月 24 日 17 時 5 分から翌 25 日 12 時 56 分までの間、送電ロスと送電電力量を実測したものである。送電ロス及び送電電力量は、この間の平均でそれぞれ、1.16 %及び 395 kW となった。この実測結果を用いて、以下の式により $EL_{REF,1,p}$ を算出した。

$$EL_{REF,1,p} = 395 \text{ kW} * 8760 \text{ h} * 0.0116 = 40.2 \text{ MWh/y}$$

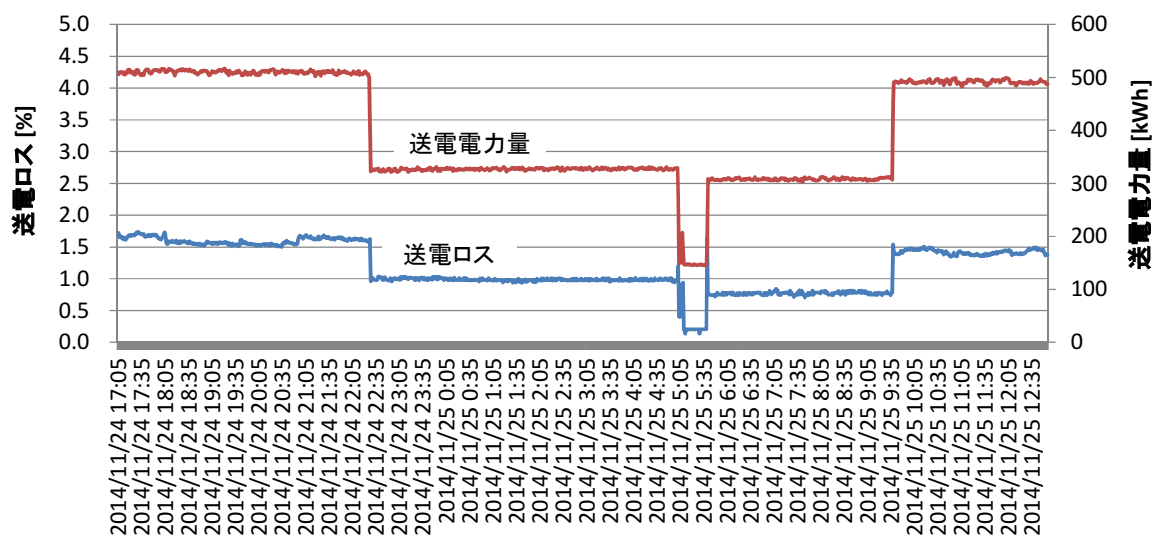


図 30. プンプレック浄水場の 3kV 送電線の送電ロス実測結果

(2) プンプレック浄水場 $EL_{REF,2,p}$ (0.4 kV 送電線の送電ロス) : 0.1 MWh/p

本数値は、図 31 に示すプンプレック浄水場の実測結果より設定した。図 31 は、プンプレック浄水場の 0.4 kV 送電線について、2014 年 11 月 25 日 14 時 11 分から 16 時 14 分までの間、送電ロスと送電電力量を実測したものである。送電ロス及び送電電力量は、この間の平均でそれぞれ、3.22 %及び 0.46 kW となった。この実測結果を用いて、以下の式により $EL_{REF,2,p}$ を算出した。

$$EL_{REF,2,p} = 0.46 \text{ kW} * 8760 \text{ h} * 0.0322 = 0.1 \text{ MWh/y}$$

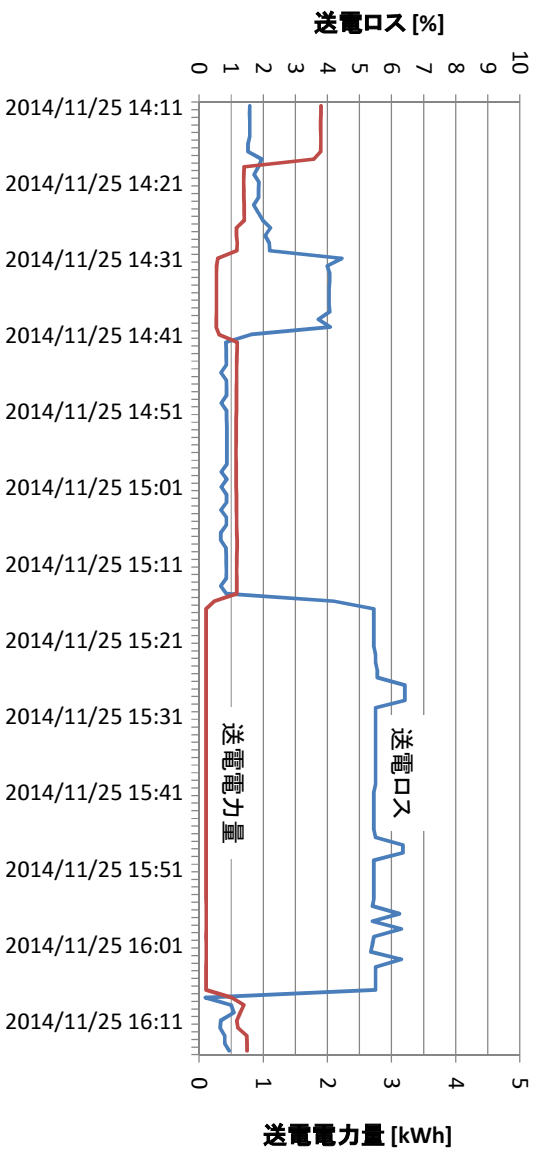


図 31. プンプレック浄水場の 0.4kV 送電線の送電ロス実測結果

(3) チャンカーモン浄水場 $EL_{REF,3,p}$ (630 kVA 変圧器の送電ロス) : 17.8 MWh/p
 本数値は、図 32 に示すプンプレック浄水場の実測結果を用いて設定した。図 32 は、プンプレック浄水場の 750 kVA 変圧器について、2014 年 11 月 19 日 15 時 10 分から 21 時 48 分までの間 (1 回目)、2014 年 11 月 22 日 17 時から翌日 7 時までの間 (2 回目) 変圧器の効率と負荷率を実測したものである。変圧器の効率は、この間の平均で 96.55 % となった。また、チャンカーモン取水場のポンプは 55 kW モーターによる常時 1 台運転であることより、浄水場から取水場へ送電される電力は 55 kW と仮定した。これらの数値を用いて、以下の式により $EL_{REF,3,p}$ を算出した。

$$EL_{REF,3,p} = 55 \text{ kW} * 8760 \text{ h} / 0.9655 / 0.9655 * (1 - 0.9655) = 17.8 \text{ MWh/y}$$

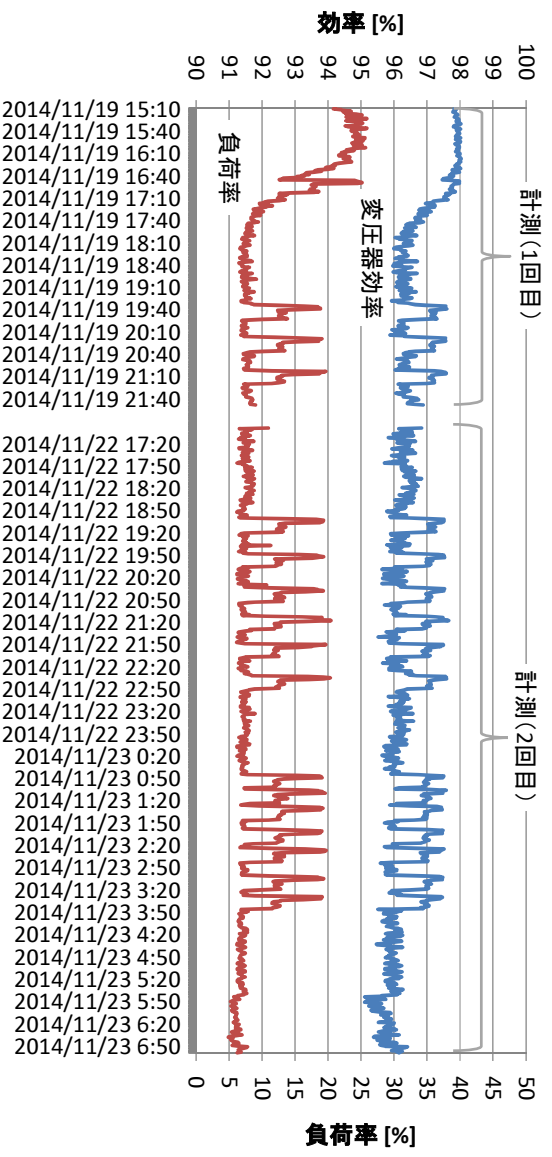


図 32. プンプレック浄水場の 750kVA 変圧器の送電ロス実測結果

(4) チャンカーモン浄水場 $EL_{REF,4,p}$ (250 kVA 変圧器の送電ロス) : 17.2 MWh/p

本数値は、 $EL_{REF,3,p}$ と同様に、図 32 に示すポンプレック浄水場の実測結果を用いて、以下の式により設定した。

$$EL_{REF,4,p} = 55 \text{ kW} * 8760 \text{ h} / 0.9655 * (1 - 0.9655) = 17.2 \text{ MWh/y}$$

(5) チャンカーモン浄水場 $EL_{REF,5,p}$ (15 kV 送電線の送電ロス) : 3.4 MWh/p

本数値は、(1) $EL_{REF,1,p}$ の計算に用いたポンプレック浄水場における 3 kV ラインの送電ロス 1.16 %に、ポンプレック浄水場のケーブル長 1.3 km と、チャンカーモン浄水場のケーブル長 0.8 km を用いて、以下の式により算出した。

$$EL_{REF,5,p} = 55 \text{ kW} * 8760 \text{ h} * 0.0116 * (0.8 \text{ km} / 1.3 \text{ km}) = 3.4 \text{ MWh/y}$$

ここで、上記(1)～(3)の実測期間の妥当性について考察する。

まず、実測を行った 11 月 19 日、22 日～25 日の日配水量は、年平均と同程度であることを確認した。次に実測時間について、取水場における取水ポンプ 5 台の電流の合計値を用いて検証する。上記(1)～(3)中のポンプレック浄水場における実測時間の平均値は、(1) : 97 A、(2) : 117 A、(3) : 104 A となる。一方で、11 月 19 日、22 日～25 日の 5 日間の平均値が 101 A であるため、(1)～(3)の時間帯の取水場への送電量は、平均と大きく外れていないと言える。なお、取水場への送電量は、夜間少なくなるものの、1 日 24 時間で安定的な負荷が日々継続している状況である。

また、上記(3)～(5)のチャンカーモン浄水場における $EL_{REF,3,p}$ 、 $EL_{REF,4,p}$ 及び $EL_{REF,5,p}$ については、現場での計測が困難であったため、やむを得ずポンプレック浄水場での実測値より推定した。上記(3)及び(4)の変圧器の容量は、ポンプレック浄水場で実測した 750 kVA 変圧器と、容量が大きく変わらない。また、導入年度も、ポンプレック浄水場の 750 kVA が 1996 年、チャンカーモン浄水場の上記(3)が 2005 年、(4)が 1989 年であるため、いずれも最新の機器でない同程度の効率を有する機器と予想できる

上記(5)の送電ロスについては、元データであるポンプレック浄水場の送電線仕様は 3 kV、200 A であるのに対し、チャンカーモン浄水場の該送電線仕様は 15 kV、9.5 A とより高圧になるため、理論的には送電ロスが少なくなる方向である。このため、上記(5)については、GHG 排出削減量の保守性の担保は説明しづらい状況であるものの、本プロジェクトの全 GHG 排出削減量に対する割合は約 0.4 %と小さい。

C. 高効率変圧器の導入による省エネルギー

本方法論では、リファレンス排出量とプロジェクト排出量との差分をプロジェクト実施による GHG 排出削減量と設定し、以下の式にて算定する。

$$ER_p = RE_p - PE_p$$

ER_p : 排出削減量 [tCO₂/p]

RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]

PE_p : プロジェクト排出量 [tCO₂/p]

カ国内において、変圧器は日本国内と同様、頻繁に交換される設備ではないことから、BAU シナリオとしては、変圧器の更新プロジェクトの場合には既存の変圧器が継続使用されるシナリオを採用し、新規導入プロジェクトの場合には最も市場占有率の高い変圧器が導入されるシナリオを採用することが考えられる。リファレンス排出量は、効率が BAU よりも高い変圧器が導入されることを想定することで、保守性を担保している。リファレンス排出量は、以下の式により計算される。

$$RE_p = \{ET_{PJ,2,p} * (1 / \eta_{REF} - 1)\} * EF_{grid}$$

RE_p : リファレンス排出量 [tCO₂/p]

$ET_{PJ,2,p}$: プロジェクト変圧器の二次側の電力量 [MWh/p]

η_{REF} : リファレンス変圧器の変圧効率 [-]

EF_{grid} : グリッドの排出係数 [tCO₂/MWh]

プロジェクト排出量は、導入されたプロジェクト変圧器による変圧ロスと、変圧される電力の排出係数との積によって算出する。ここで、プロジェクト変圧器の変圧ロスは、プロジェクト変圧器の一次側の電力量と二次側の電力量の差によって求めることができる。

$$PE_p = (ET_{PJ,1,p} - ET_{PJ,2,p}) * EF_{grid}$$

PE_p : プロジェクト排出量 [tCO₂/p]

$ET_{PJ,1,p}$: プロジェクト変圧器の一次側の電力量 [MWh/p]

$ET_{PJ,2,p}$: プロジェクト変圧器の二次側の電力量 [MWh/p]

リファレンス排出量の計算に用いるデフォルト値 η_{REF} について、設定根拠を下記に示す。

PPWSA が所有するポンプレック浄水場及びニロート浄水場に導入されている変圧器と、EDC が推奨する製造業者の変圧器について、効率情報を収集した。また、ポンプレック浄水場の 2 つの変圧器については、実測を行った。本調査で得られた変圧器の効率情報を図 33 に示す。なお、変圧器の効率は容量により変化するため、図 33 には、変圧器の容量と効率の関係を図示している。ここで、図 33 の凡例に記

載されている試験データとは、製造業者が見積り時や納入時に提出する試験データを示す。実測とは、ポンプレック浄水場での実測データを示す。カタログは、webなどに掲載されている製造業者のデータを意味する。なお、EDCが推奨する製造業者は、ABB、GE、Schneider及びThibidiである。

変圧器の技術開発は進んでおり、図33より、500 kVA以上の範囲において、試験データ及びカタログの効率は、98%～99%の間で飽和状態となっているのが分かる。このことより、変圧器を高効率機器に変更しても、改善される効率は、0.数%と小さいため、変圧器のリファレンスは、より慎重に設定する必要がある。

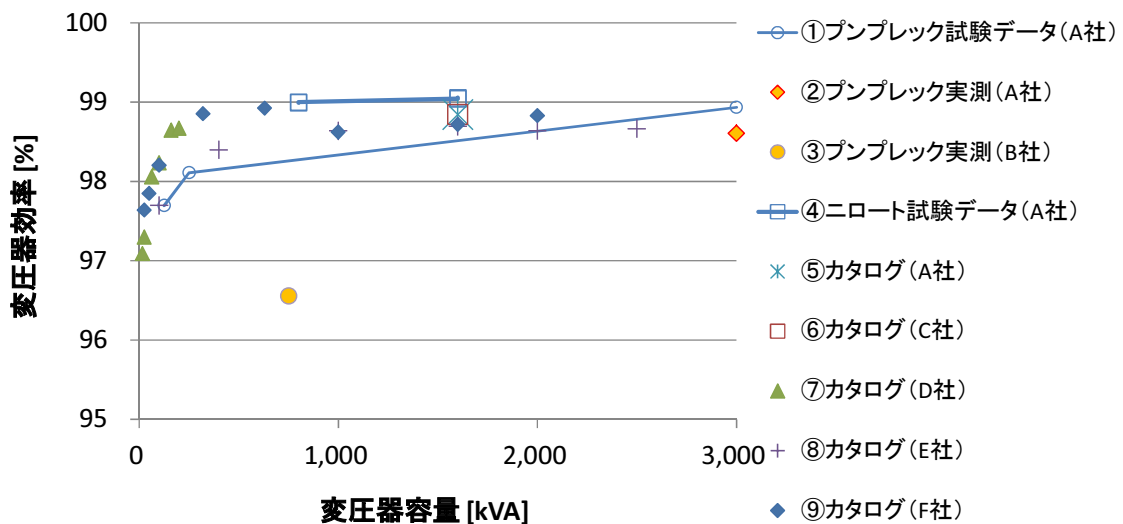


図 33. 変圧器容量と変圧器効率の関係

図33より、実測値である②及び③は、試験データ及びカタログに比べて効率が低くなっていることが分かる。図33の試験データ及びカタログの効率は定格点における効率である。一方、実測値は、負荷率などの実際の運用状況を反映した数値であるため、定格点における数値との差が生じる。

ポンプレック浄水場において、②を実測した結果、実測対象期間における負荷率の平均は約10%であった。日本電機工業会の資料「トップランナー変圧器 第二次判断基準2014年スタート」の35ページにおいて、油入変圧器の部分負荷特性を見ると、定格点となる負荷率100%時の変圧器効率が98.3%であるのに対し、負荷率10%時の変圧器効率は97.3%となっている。この関係性を用いて、図33の負荷率100%時の効率（②及び③は実測値のため除く）を、負荷率10%時の効率に変換すると図34となる。

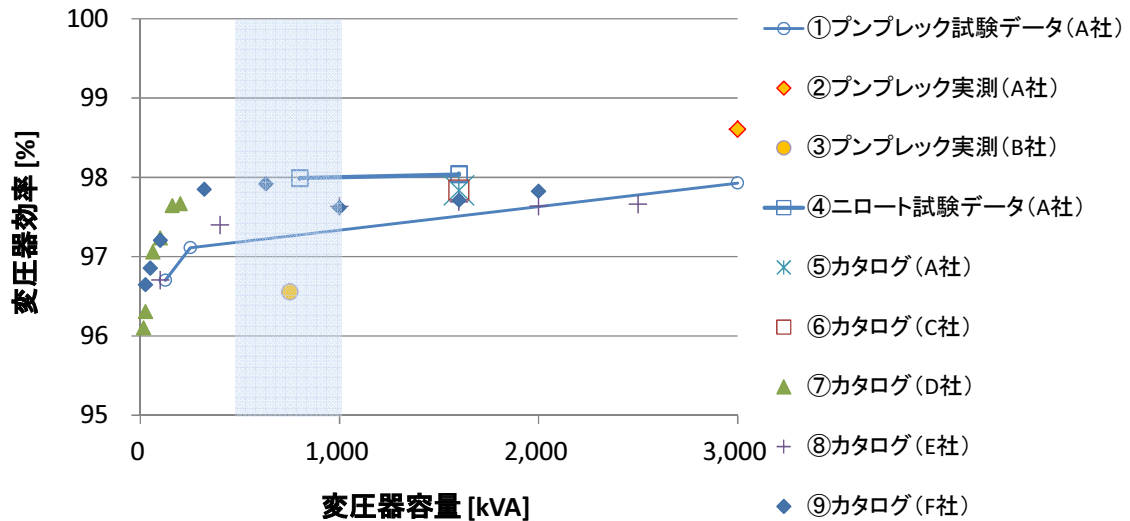


図 34. 変圧器容量と変圧器効率の関係（10%負荷時）

図 34 において、適格性要件 2 で設定した変圧器容量範囲 500 kVA～1,000 kVA におけるプロットは、③が 1 点、④が 2 点（重なって 1 点に見える）、⑧が 1 点、⑨が 1 点の計 5 点である（図 34 の網掛けの部分）。この中から実測値である③を除いた 4 点がリファレンス候補となる。

GHG 排出削減量の保守性を担保するために、4 点の中で最も効率の高い④をリファレンス変圧器に設定した。これより、リファレンス変圧器の効率は、0.9799 となる。

(3) プロジェクト実施前の設定値

A. ポンプのインバータ化による省エネルギー

本方法論では、下記を事前設定又はデフォルト値とする。

1. リファレンスポンプの性能曲線
2. プロジェクトポンプの性能曲線
3. プロジェクトポンプの電力消費量の定格値
4. グリッド排出係数

1. リファレンスポンプの性能曲線については、PPWSA が所有する 4 つの浄水場

に実際に導入されているポンプについて、製造業者が提出した試験データを調査した上で、GHG 排出削減の保守性が担保できるように設定した。これらポンプは 20 年近く使用されるケースが多いため、PPWSA の浄水場におけるポンプの市場占有率などが、1 年単位で大きく変化することは考えにくい。

一方で、PPWSA がプノンペン市で主導する Greater Phnom Penh Water Supply System (GPPWSS)では、2013 年から 2017 年までの期間において、総額約 60 億円規模で、浄水場及び配管網の拡張プロジェクトを行っている。このことより、3 年後の 2017 年には、PPWSA が所有する浄水場において、リファレンスポンプを再検討することが適切と考えられる。よって、リファレンスポンプの性能曲線情報は、必要に応じて 3 年毎に更新することとした。

2. プロジェクトポンプの性能曲線は、製造業者による試験データを使用する。

3. プロジェクトポンプの電力消費量の定格値は、製造業者が提示する値を使用する。

4. グリッド排出係数については、カ国のグリッドは、EDC により運営されているが、地域により何個かに分断されているため、本プロジェクトの対象地域であるプノンペンの数値を使用しなければならない。最新の排出係数は、2011 年 3 月に発行された「Grid Emission Factor of the Phnom Penh Electricity Grid」に記載された 0.6257 tCO₂/MWh である。本数値は、カ国の MOE 気候変動局と日本の IGES により取り決められており、次回の更新は 2015 年の予定である。また、この数値は、EDC が、同国内に存在するグリッドの電力構成種別（重油、軽油、水力、木質バイオマス、石炭、輸入）毎の年次報告書にて公表している発電電力量と、国際エネルギー機関（International Energy Agency、「IEA」）が公表している、経済協力開発機構（Organization for Economic Co-operation and Development、「OECD」）加盟国における燃料別の電力排出係数との加重平均により求められている。本排出係数は、プロジェクト期間の GHG 排出削減量の算出に用いることから、1 年毎に最新の値に更新されているかどうかを確認すれば良い。

B. 浄水場－取水場間の送電ロス低減

本方法論では、下記を事前設定又はデフォルト値とする。

1. プロジェクトの実施によって使用されなくなった浄水場－取水場間のリファレンス受電システムに設置されている変圧器及び送電線における送電ロス
2. グリッド排出係数

1. プロジェクト実施によって使用されなくなった変圧器及び送電線における送電ロスについては、プロジェクト対象であるプンプレック浄水場及びチャンカーモン浄水場それぞれを調査した上で、プロジェクト実施により使用されなくなる変圧器及び送電線を特定し、それらの送電ロスを求めデフォルト値として設定した。具体的には、プンプレック浄水場の送電線の送電ロスは、プンプレック浄水場における実測値を使用した。チャンカーモン浄水場の送電線の送電ロスは、プンプレック浄水場の実測値を基に推定した。チャンカーモン浄水場の変圧器のロスについては、プンプレック浄水場の実測値を使用した。

2. グリッド排出係数については、方法論 A と同じである。

C. 高効率変圧器の導入による省エネルギー

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. リファレンス変圧器の変圧効率2. グリッド排出係数 |
|---|

1. リファレンス変圧器の変圧効率については、PPWSA の 3 つの浄水場に導入されている変圧器と、EDC が推奨する製造業者の変圧器効率情報を調査することで、BAU シナリオに対して GHG 排出削減量の保守性が担保できるように決定した。

2. グリッド排出係数については、方法論 A と同じである。

6. JCM プロジェクト設計書(PDD)の作成に関する調査

(1)環境影響評価

PPWSA においては、水道水の安定供給に資するため、設備メンテナンスを通じて、計画的に設備更新を行っている。

本プロジェクトは、事業規模の面から見て、通常の設定更新事業の範疇と考えられる。PPWSA の担当責任者とのヒアリングにおいても、今まで当該工事に伴う環境影響負荷調査を実施した例はなく、監督官庁の指導もなかったことを確認している。

このことから、本プロジェクトは、PPWSA の水道事業において、機器の更新・改善により省エネルギー化ならびに GHG 排出削減を図るものであり、環境負荷調査を必要とするプロジェクトには該当しない。

工事に伴う負の影響は、取水場、浄水場等 PPWSA の管理区域内で実施することから限定的と考えている。

廃棄物については、PPWSA において、管理責任者を定め適切に管理、保管するとともにカ国の廃棄物処理に関する法律の整備状況を注視しながら適切に処理することとしており、環境に対する負の影響はないものと考えている。

(2)現地利害関係者協議

本プロジェクトによって行われる活動は、PPWSA 敷地内における既存機器の交換あるいは新規機器の設置であり、これに対して周辺地域住民への説明や意見交換等を求める法規制は見当たらない。

本プロジェクトでは 2014 年 10 月及び 12 月に委員会を開催し、プロジェクトメンバーより、プロジェクトの概要説明と調査進捗、調査結果等について説明した（図 35 参照）。MOE、MIH、PPWSA からは GHG 排出削減プロジェクトへの期待やカ国への裨益効果、MRV 方法論にかかるリファレンス概念についての質問等があり、これらについて活発な意見交換がなされた。コメントの一部を表 13 に示すが、カ国においても GHG 排出削減に期待が大きいことがわかる。



図 35. 委員会でのプロジェクト説明

表 13. 利害関係者のコメント

利害関係者	関係性	コメント
カ国 環境省 (MOE)	環境政策を所管する省庁	JCM プロジェクト実現の暁には、電力使用量の削減、コスト削減、GHG 排出削減につながることを理解できた。GHG 排出削減の観点から、PPWSA がこのプロジェクトに参加することを期待する。
カ国 工業手工芸省 (MIH)	水道事業を所管する省庁	本プロジェクトは投資回収効果もあり、GHG 排出削減効果も見込めることが分かった。GHG 排出削減はカ国の方針とも一致しており、プロジェクト実現に向けて後押ししたい。
プノンペン 水道公社 (PPWSA)	カウンターパート	電気料金削減だけでなく、GHG 排出削減も非常に重要である。カ国のための GHG 排出削減の取組について感謝する。提案内容は事業収益性の観点からも期待できるものである。

(3)モニタリング計画

本プロジェクトでは、浄水場でのモニタリング項目として、下記を取り上げている。

A. ポンプのインバータ化による省エネルギー

図 36 に示す 1 項目について、モニタリングを実施する。図 36 の①の計測機器は、プロジェクト実施後に設置予定であり、インバータおよびポンプを駆動するモーターの損失を計測する必要があることから、インバータの一次側に設置する必要がある。なお、ポンプの電流については、現在既に計測しており、図 37 に示すような電流計が設置されている。

現在、ディーゼルなどの自家発電機は導入されていない。また、太陽光発電 (PV) については、排出係数が 0 のため、プロジェクトポンプが消費する電力の排出係数を計算するという目的からは、計測の必要がない。

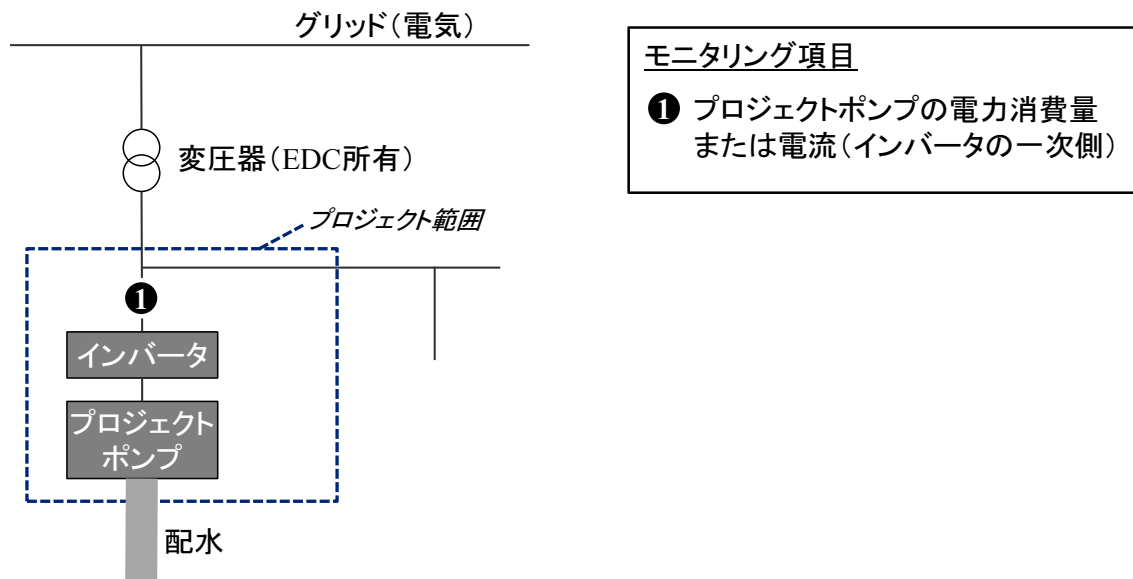


図 36. プロジェクトポンプのモニタリング項目

	プンプレック浄水場	チャンカーモン浄水場
① 受電電力量計		
② ポンプの電流計		

図 37. 実際に設置されている計測機器の例

B. 浄水場－取水場間の送電ロス低減

本方法論において、プロジェクト排出量は0と定義するため、プロジェクト実施後のモニタリングは必要ない。

C. 高効率変圧器の導入による省エネルギー

図 38 に示す①及び②について、モニタリングを実施する。①はプロジェクト変圧器の一次側、②はプロジェクト変圧器の二次側に設置する。その他については、上記 A.に関する説明と同じである。

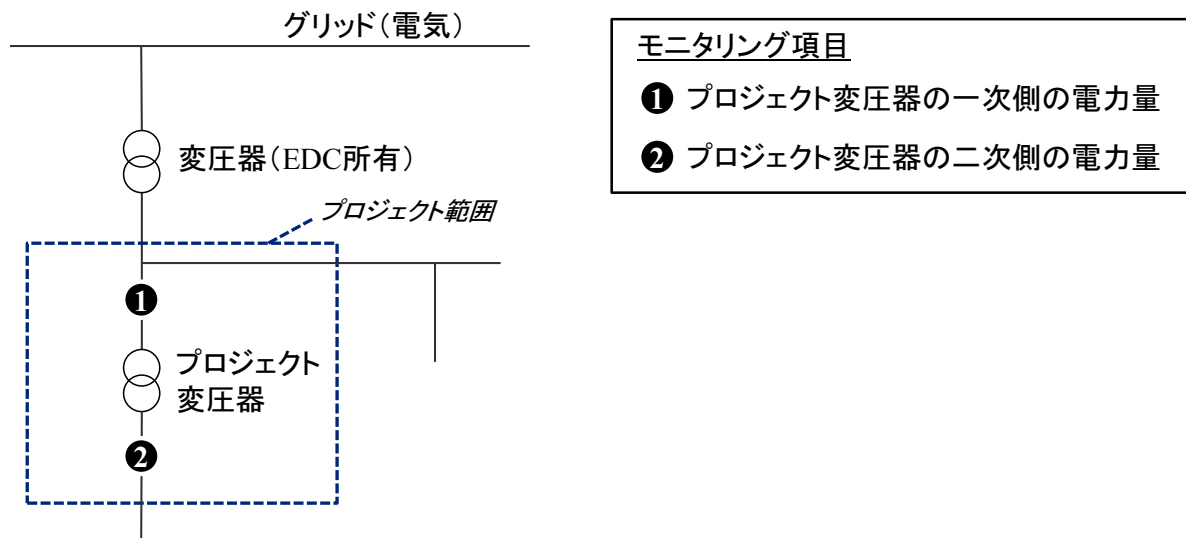


図 38. プロジェクト変圧器のモニタリング項目

現状、浄水場では、ポンプに係る日常確認項目として、電流値、吐出圧力および配水流量を 1 時間毎に計測し、運転日誌に手書きにて記載している。一方、変圧器については、特高変圧器の一次側（グリッドからの受電電力量）は、1 日毎に計測しているが、二次側の電力量については計測していない。また、これらのデータは、一部のみしか電子データ化されていない。ポンプレック浄水場及びチャンカーモン浄水場におけるモニタリング項目の調査結果を図 39 及び図 40 に、それぞれ示す。

プロジェクト実施の際は、GHG 排出削減量の計算に必要なモニタリング項目に係る計測機器を一部追加設置すると共に、ルール・手順を整備した上で全モニタリング項目を電子データ化することを PPWSA に確認した。

これらのモニタリング項目が整えば、承認された方法論に沿って、GHG 排出削減量を計算することができる。GHG 排出削減量は、モニタリング項目をスプレッドシートに入力することで、自動で算出できるようなシステムを、プロジェクト実施後に構築する。GHG 排出削減量の計算方法については、第 2 回及び第 3 回出張時に PPWSA へ講義を行った。

No.	モニタリング項目	計測機器				取得データ			
		Place	Name	Error	Verification	Record	Interval	Unit	Record in PC
	(Example)	electric room	watt-hour meter	±1%	O:every_3_year	manual	per 1 hour	kWh	manual
ポンプのインバータ化									
1	Power consumed (Wh) by project pump	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
2	Power consumed (W) by project pump	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
3	Current of project pump	pump room	ammeter	no information	(X)	(manual)	per 1 hour	A	no record in PC
4	Flow of project pump	pump room	flow meter	no information	(X)	(manual)	per 1 hour	m3/h	(manual)
5	Pressure of project pump	pump room	pressure gauge	no information	(X)	(manual)	per 1 hour	bar	no record in PC
浄水場ー取水場間の送電ロス低減									
6	Power consumed by project power receiving system (Primary side)	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
7	Power consumed by project power receiving system (Secondary side)	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
高効率変圧器の導入									
8	Power consumed by transformer 3000kVA (Primary side)	electric room	watt-hour meter	no information	(X) EDC	(manual)	per 1 day	kWh	(manual)
9	Power consumed by transformer 3000kVA (Secondary side)	outside	watt-hour meter	no information	(X) EDC	no record	-	kWh	no record in PC
10	Power consumed by transformer 750kVA (Primary side)	electric room	watt-hour meter	no information	(X)	no record	-	kWh	no record in PC
11	Power consumed by transformer 750kVA (Secondary side)	electric room	watt-hour meter	no information	(X)	no record	-	kWh	no record in PC
CO₂排出係数									
12	Power received from EDC's grid	same as No.8							
13	Power generated from captive power plant	outside	watt-hour meter	no information	(X)	(auto)	per 1 hour	kWh	(auto)
14	Operating time of captive power plant	This can be calculated by No.13.							

図 39. モニタリング項目の調査結果 (ポンプレック浄水場)

No.	モニタリング項目	計測機器				取得データ			
		Place	Name	Error	Verification	Record	Interval	Unit	Record in PC
	(Example)	electric room	watt-hour meter	±1%	O:every_3_year	manual	per 1 hour	kWh	manual
ポンプのインバータ化									
1	Power consumed (Wh) by project pump	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
2	Power consumed (W) by project pump	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
3	Current of project pump	pump room	ammeter	no information	(X)	(manual)	per 1 hour	A	no record in PC
4	Flow of project pump	electric room	flow meter	no information	(X)	(manual)	per 1 hour	m3/h	(manual)
5	Pressure of project pump	pump room	pressure gauge	no information	(X)	(manual)	per 1 hour	kg/cm2	no record in PC
浄水場ー取水場間の送電ロス低減									
6	Power consumed by project power receiving system (Primary side)	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
7	Power consumed by project power receiving system (Secondary side)	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
高効率変圧器の導入									
8	Power consumed by transformer 630kVA (Primary side)	outside	watt-hour meter	±1%	(X) EDC	(manual)	per 1 day	kWh	(manual)
9	Power consumed by transformer 630kVA (Secondary side)	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
CO₂排出係数									
10	Power received from EDC's grid	same as No.8							
11	Power generated from captive power plant	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)
12	Operating time of captive power plant	nothing			(O:every_year_X)	(manual-auto)			(manual-auto)

図 40. モニタリング項目の調査結果 (チャンカーモン浄水場)

(4) 計測機器の校正

PPWSA に全モニタリング項目に必要な計測機器について、校正の有無をヒアリングしたところ、一切実施しておらず、必要性も認識していないのが現状である。また、計測機器の校正を定める法規制についても、確認することができなかった。EDC 所管の

グリッドに接続する特高変圧器の一次側受電電力量の計測機器については、EDC の所有物のため EDC にて校正を行っているとのこと。なお、上記 EDC 所管の計測機器の精度は、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission、「IEC」）規格に準拠している。