

第4章 系統計画

4-1 系統計画の必要性及びコンセプト

本事業は首都圏の電力流通設備の整備であるが、効率的かつ有効な事業形成を行うためには、首都圏の送電系統全体の系統計画を適切に見通しておく必要がある。開発途上国の電力セクター開発においては、ドナー支援により開発が促進されることも多く、将来計画に関してもその殆どが不確定であるため、中長期的（10年から15年程度）観点で系統計画が策定されている。この系統計画を基に、UETCLは「送電網開発計画2014-2030」を策定、各年毎に改定している。

しかしながら、実施機関UETCLにおいては、220kV系統等の超高圧系統の開発が進められているものの、まだ導入期であり、環状系統の構成等、これらの首都圏系統への有効活用については今後も技術の蓄積が不可欠である。本準備調査では本邦招聘プログラムが開催され、実施機関であるUETCLの主要技術者が、我が国の電力事業者の給電指令所等を視察する機会が設けられ、我が国の供給信頼度、電力品質が確保された系統の現状を知る機会も設けられた。

計画対象地が電力の大消費地である首都圏であることも踏まえ、本事業のコンポーネントの選定に先立ち、既存の「送電網開発計画2014-2030（Grid Development Plan 2014 - 2030）」の課題を検証しつつ、将来的な首都圏系統における環状系統の形成等、首都圏系統全体を俯瞰しながら、計量経済学的手法による中長期的な電力需要想定に基づき系統計画を策定することが肝要である。

4-1-1 既存の「送電網開発計画2014-2030」の課題

ウガンダ政府は近年の経済成長を背景とした電力需要の増加を受け、水力発電の開発計画（Hydropower Development Plan）を策定し、発電能力を増強するため水力発電所設備建設を中心とした電源開発を進めている。その一方で、主な需要地であるカンパラ首都圏では、送変電設備の増強が進んでおらず、停電が頻発している。このような状況に応じて、将来の電力需要状況を踏まえたカンパラ首都圏の送変電設備を増強することが課題である。

UETCLは、「送電網開発計画2014-2030」を2014年に取りまとめており、中長期的（10年から15年程度）観点から、カンパラ首都圏も含めたウガンダ全土を対象とした流通設備計画を策定している。UETCLは、将来15年間の計画期間とした同計画の改定作業を1年から2年周期で行っている。

この送電網開発計画においても、カンパラ首都圏の送変電能力強化は最も優先度が高い事業とされており、2020年までにカンパラ首都圏の主要な流通設備の新增設が完了するように計画されている。

「送電網開発計画2014-2030」に示されるカンパラ首都圏における優先度が高い事業を、表4-1-1.1に示す。同表では優先事業が明示的に示されているものの、「送電網開発計画2014-2030」では、今後の需要増大の推移を踏まえ、132kV内輪系統の外側に220kVの外輪系統を構成する等、全体を俯瞰した明確なビジョンが記載されておらず、今後も6%/年から7%/年程度の急激な増大が想定されるカンパラ首都圏の需要を許容できるか等が十分に確認することができない。また、表4-1-1.1の計画を優先プロジェクトとして選定するにあたっては、途中断面の潮流解析結果等が示されることなく最終の系統構成図のみしかなく、系統変遷が十分確認できないため、開発計画のステップが検証できない等の課題もある。加えて、

静止型無効電力補償装置（Static Var Compensator: SVC）の導入が計画されている等、時期尚早と判断される計画もある。

以上の点を踏まえると本事業コンポーネントの選定にあたっては、まず、今後の電力需要の増大を経済の趨勢等をもとに想定し、それを前提条件として中長期的（10年から15年程度）観点から系統計画を策定し、途中断面の潮流も踏まえながら、妥当な事業コンポーネントを選定する必要がある。

表 4-1-1.1 「送電網開発計画 2014-2030」に示さる首都圏の優先事業

| プロジェクト | 概要 | 現在の状況 | 資金状況 |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|---------------------------|
| カワンダ 132/33kV 変圧器(40MVAx1)更新 | 変電所の適正容量の提供 | 入札書類準備完了 | 設計・調達・建設契約の資金調達中 |
| カワラ 132/33kV 変圧器(40MVAx2)へ更新 | カンパラ首都圏への電力供給用変電所に適切な容量を提供 | 実現可能性の事前調査中 | 実現可能性調査及び設計・調達・建設契約の資金調達中 |
| ムトゥンドウエ～プロバ 132kV 送電線及び 220/132/33 kV プロバ変電所 | カンパラ首都圏及びプロバ石油パイプライン基地への電力供給の適正容量と信頼性を提供 | 実現可能性の事前調査中 | 実現可能性調査及び設計・調達・建設契約の資金調達中 |
| ムトゥンドウエ～ガバヘルジラ 132kV 送電線及び 132/33kV ガバ変電所 | カンパラ首都圏及びガバ水会社への電力供給の適正容量と信頼性を提供 | 実現可能性の事前調査中 | 実現可能性調査及び設計・調達・建設契約の資金調達中 |

[出所] 送電網開発計画 2014-2030

4-1-2 電力需要想定

前述のように、系統計画を適切に策定するにあたっては、目標年次までの各断面において必要となる供給容量を見極めるため、電力需要を想定することが不可欠である。電力需要想定は、ミクロ的に基礎情報を積み上げていく手法と、マクロ経済指標と電力需要の回帰分析を行う計量経済学的手法に大別される。開発途上国の需要想定にあたっては、ミクロ的に積み上げていくにあたって十分なデータが蓄積されていないため、計量経済学的手法が採用される場合が多い。ウガンダにおいても他の開発途上国と同様に、ミクロ的に積み上げていくには十分なデータが蓄積されていないため、計量経済学的手法で需要想定を行う。

UETCL の「送電網開発計画 2014-2030」の需要想定は実質 GDP との単回帰分析で需要想定を行っているが、本事業の系統計画にあたっては、ウガンダのマクロ経済構造を需要想定に反映するため、マクロ経済モデルを構築した後、そこから得られる社会経済指標の予測結果を用いて、重回帰分析を活用した計量経済学的モデルにより電力需要想定を行う。

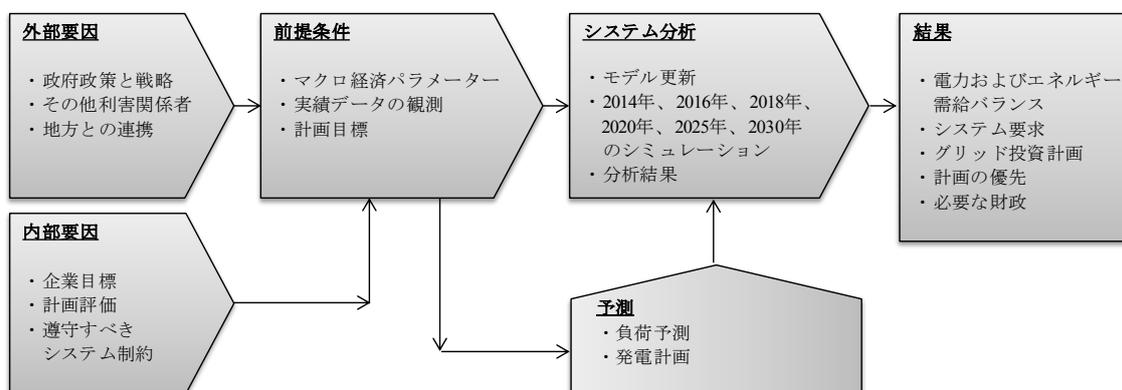
(1) 既存の電力需要想定

1) 既存電力需要想定 の体系

UETCL の電力需要想定 の体系は、「送電網開発計画 2014-2030」の記載によると 6 つの部分で構成されている。図 4-1-2. 1 に示すように、前半の 3 つの部分は、前提条件を形成する UETCL の内部要因（企業目標、計画評価、システム観測）と外部要因（政府政策・戦略、利害関係者、地方との連携）から成り立っている。外部要因と内部

要因から抽出した前提条件（マクロ経済、計画目標、実績データの推移）は、電力需給モデルに説明変数として用いる。電力需給モデルは、電力需要側では計量経済分析ツール e-view を用いて回帰分析を行い、電力供給側では BID（最適投資決定）モデルを用いて最適電源構成を決定している。この需要と供給のシミュレーション結果に基づいて、UETCL の送電開発計画が作成されている。

また、「送電網開発計画 2014－2030」の中では、4つのシナリオが設定されている。それは、①ベースケース、②国家開発計画 2010－2015（NDP）、③2035年に電化 100%、④2040 ビジョンの 4つである。UETCL の送電開発計画は、ベースケースに基づいて作成されているが、その他の3つのシナリオと前提条件の設定があまりにも異なっているため、それぞれのシナリオの比較性を持っていない。



[出所] 送電網開発計画 2014－2030

図 4－1－2.1 「送電網開発計画 2014－2030」の電力需給予測のフローチャート

UETCL の電力需要予測条件を表 4－1－2. 1 に示す。人口増加率については、2014年から 2030 年までの期間中、約 3.0%で一定としている。経済については、GDP 増加率は 2014 年から 2015 年が約 8.4%、2016 年から 2020 年が約 8.6%、2021 年から 2025 年が約 8.4%、2026 年から 2030 年が約 8.1%となっている。つまり 2015 年以降は、5 年毎に増加率が逡減していく設定となっている。この傾向は、商業部門と工業部門の総生産が、5 年毎に逡減していくことと同じ設定である。しかし、これらの増加率の水準は、どのように適用されているかについて詳細な説明が記載されていない。

表 4-1-2.1 「送電網開発計画 2014-2030」の電力需要予測の前提条件

| 年 | 増加率 (%) | | | |
|------|---------|------|------|------|
| | GDP | 商業部門 | 工業部門 | 人口 |
| 2014 | 8.44 | 9.3 | 9.67 | 3.03 |
| 2015 | 8.44 | 9.3 | 9.67 | 3.03 |
| 2016 | 8.58 | 9.35 | 9.52 | 3.03 |
| 2017 | 8.58 | 9.35 | 9.52 | 3.03 |
| 2018 | 8.58 | 9.35 | 9.52 | 3.03 |
| 2019 | 8.58 | 9.35 | 9.52 | 3.03 |
| 2020 | 8.58 | 9.35 | 9.52 | 3.03 |
| 2021 | 8.35 | 9.05 | 9.67 | 3.03 |
| 2022 | 8.35 | 9.05 | 9.67 | 3.03 |
| 2023 | 8.35 | 9.05 | 9.67 | 3.03 |
| 2024 | 8.35 | 9.05 | 9.67 | 3.03 |
| 2025 | 8.35 | 9.05 | 9.67 | 3.03 |
| 2026 | 8.07 | 8.85 | 8.71 | 3.03 |
| 2027 | 8.07 | 8.85 | 8.71 | 3.03 |
| 2028 | 8.07 | 8.85 | 8.71 | 3.03 |
| 2029 | 8.07 | 8.85 | 8.71 | 3.03 |
| 2030 | 8.07 | 8.85 | 8.71 | 3.03 |

[出所] 送電網開発計画 2014-2030

上記の前提条件に基づいて、表 4-1-2.2 に電力需要の予測結果を示す。ウガンダの合計電力需要量は、2014 年の 3,222 GWh から 2030 年の 12,857 GWh まで、年平均 9.0%で増加している。その内、同期間の国内電力需要量は、年平均 8.2%で増加し、電力輸出量は年平均 23.0%で拡大する見込みとなっている。「送電網開発計画 2014-2030」は、需要計測期間の系統の負荷率が、2014 年から 2017 年が 71%、2018 年から 2020 年が 73%、2021 年から 2030 年が 75%と提示している。この負荷率に沿って計算すると、国内電力需要量は、2014 年 508 MW から年平均率 7.9%で増加し、2030 年では 1,707 MW に達する。送電損失については、2014 年の 3.4%から徐々に改善され、2030 年には 3.0%までに低下し、配電ロスについては、2014 年の 20%から 2030 年の 14%までに大幅に改善されることを想定している。

一方、「送電網開発計画 2014-2030」は、国内の電力需要について詳細な部門別、地域別の電力需要量を提示していない。特にカンパラ首都圏の電力需要及びその構造について詳しい説明は、同開発計画の中で記載されていない。一方、電力輸出については、高い目標値を設定されており、隣接の 5 か国（タンザニア、ケニア、コンゴ、ルワンダ、南スーダン）に対して電力を輸出する計画が進められている¹。2030 年の電力輸出量の目標値は、1,642 GWh (250 MW) と設定されており、合計電力需要量の 12.8%を占めている。

¹ 2015 年 10 月時点では、ケニアから電力を輸入し、それと同量の電力量をルワンダに輸出する計画に変更した。つまり、ケニアはルワンダとの間で電力国際間取引契約が結ばれ、ウガンダは両者間の託送業務を請け負う計画となっている。

表 4-1-2.2 「送電網開発計画 2014-2030」の電力需要予測結果

| 年 | 国内電力 需要量 (MW) | 輸出 (MW) | 合計電力 需要量 (MW) | ロード ファクター (%) | 国内電力 需要量 (GWh) | 輸出 (GWh) | 合計電力 需要量 (GWh) |
|---------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------|----------------------|
| 2014 | 508 | 10 | 518 | 71 | 3,162 | 60 | 3,222 |
| 2015 | 548 | 12 | 560 | 71 | 3,409 | 74 | 3,483 |
| 2016 | 653 | 12 | 665 | 71 | 4,059 | 77 | 4,136 |
| 2017 | 708 | 13 | 721 | 71 | 4,342 | 80 | 4,422 |
| 2018 | 771 | 14 | 785 | 73 | 4,930 | 90 | 5,020 |
| 2019 | 838 | 64 | 902 | 73 | 5,358 | 410 | 5,768 |
| 2020 | 915 | 115 | 1,030 | 73 | 5,851 | 736 | 6,587 |
| 2021 | 905 | 117 | 1,022 | 75 | 5,949 | 766 | 6,715 |
| 2022 | 988 | 220 | 1,208 | 75 | 6,490 | 1,447 | 7,937 |
| 2023 | 1,097 | 270 | 1,367 | 75 | 7,210 | 1,771 | 8,981 |
| 2024 | 1,216 | 220 | 1,436 | 75 | 7,991 | 1,444 | 9,435 |
| 2025 | 1,273 | 250 | 1,523 | 75 | 8,363 | 1,643 | 10,006 |
| 2026 | 1,339 | 250 | 1,589 | 75 | 8,796 | 1,644 | 10,440 |
| 2027 | 1,479 | 250 | 1,729 | 75 | 9,716 | 1,644 | 11,360 |
| 2028 | 1,552 | 250 | 1,802 | 75 | 10,195 | 1,644 | 11,839 |
| 2029 | 1,622 | 250 | 1,872 | 75 | 10,659 | 1,640 | 12,299 |
| 2030 | 1,707 | 250 | 1,957 | 75 | 11,215 | 1,642 | 12,857 |
| 年平均増加率 (%) | 7.9 | 22.6 | 8.7 | | 8.2 | 23.0 | 9.0 |

[出所] 送電網開発計画 2014-2030

2) 既存電力需要想定の問題点

UETCL によると同公社が実施している需要想定は計量経済手法を用いているが、基本的には単回帰分析で行っている。この推計国内電力需要量の結果に基づき、UETCL が運営している各変電所の実績負荷の傾向と併せ変電所毎の負荷を推計する。「送電網開発計画 2014-2030」の電力需要予測について、大きく 2 つの問題点がある。

- 各推計対象の回帰式は、単独的に行われており、各関数の相互関係がない、または、はっきりしていない。
- 国内電力需要の消費構造が提示されていない。ウガンダの電力消費は、部門別消費構造及び消費実態分析がなされていない。

(2) 計量経済学的手法に基づく電力需要想定

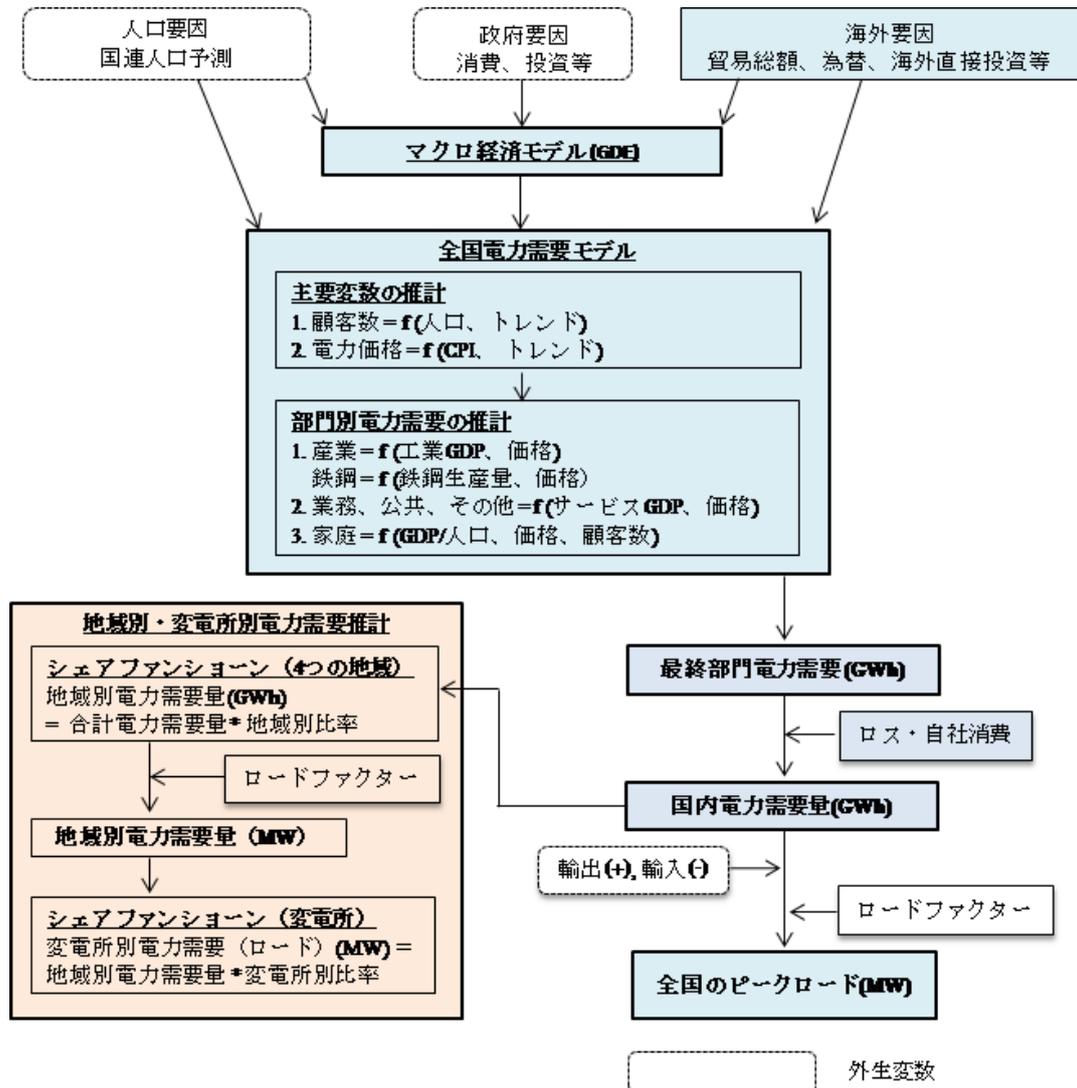
1) モデルの概要

a) 考え方と構造

「送電網開発計画 2014-2030」の問題点を補完するために、本事業は UETCL が使用している計量経済モデルの手法を踏襲するが、経済と電力セクターを一体化するモデル構造の構築を提示する。つまり、従来 UETCL が行っている単回帰分析から、関数が相互に影響しあう一つの構造集合体に組み立て直す。

二つ目のポイントは、部門別電力消費構造の分析の導入である。現状のデータでは、ウガンダの電力消費は、主に工業、家庭、商業（公共を含む）の 3 つの部門に分かれている。本モデルは、この消費構造をモデルの中に組み込み、部門別の将来の電力需

要量を算出する。全体のモデル構造は、図4-1-2.2に示す。



[出所] JICA 調査団

図 4-1-2.2 電力需要予測モデルの全体構成

この電力需要予測モデルは、マクロ経済モデル、電力需要モデル、地域別・変電所別の需要量推計の3つの部分によって構成される。この3つの部門に基づくシミュレーション分析を通じて、2030年までのウガンダの電力需要を予測する。この統合型計量分析モデルでは、マクロ経済の関連指標とエネルギー（電力）需要との相互関係を検証することが比較的容易であり、今後のエネルギー（電力）需要の変化を経済活動で説明しやすい。

a. マクロ経済モデル

本調査の電力需要予測モデルでは、国内総生産の支出側（国内総支出 Gross

Domestic Expenditure: GDE²) をもとに経済モデルを作成し、ウガンダの経済成長率を推計した。マクロ経済モデルでは、民間消費、政府政策、投資、輸出入などの要因が分析しやすい GDE に基づいて構築する。モデルの特徴は、貿易要因（輸出先の経済動向、為替）、政府要因（公共投資、金利など）、人口要因などの外生変数を与え、経済成長率及び各産業部門の生産高を求める点である。

同国の産業連関表が不明のため、産業連関表に基づく産業構造の分析ができない。そのため、GDP (GDP=GDE) の各産業部門の過去のトレンド及び産業構造変化に基づいて、工業、商業、サービス業の各部門の生産額及び割合を推計した。

b. 電力需要モデル

全体モデルの中核をなす部分である「電力需要モデル」では、マクロ経済モデルから得られた各部門の生産高及び電力価格、人口、所得、顧客数などの諸指標を説明変数として、最終部門における部門別の電力需要量を決定する。最終電力需要量は、さらに発電事業者の所内電力消費量³、送配電ロス、そして純輸出入電力量を加えると、ウガンダの合計電力需要量となる。この合計電力需要量に対して負荷率を掛けると最大負荷 (MW) の算出ができる。この最大負荷に基づいて、電力供給モデルが作成される。

c. 地域別・変電所別の需要量推計

電力需要モデルに基づいて算出した 2030 年までの国内電力需要量(輸出を含まない)は、さらに 4 つの地域 (中央地域・東部地域・西部地域・北部地域) と各地域内の変電所別に、それぞれの電力需要量を算出する。地域別または変電所別の電力需要量の構成比は、過去の実績傾向に基づいて推計する。地域別または変電所別の電力需要量における構造変化は、過去の構造変化の延長であると考えられる。

b) モデルの規模と推定期間

本モデルの推定期間は、2014 年から 2030 年まで 17 年間である。モデルは、30 本の推計式と 14 本の定義式、計 44 本の計算式から成り立っており、連立方程式でモデルの中で計算される。実績データは、1990 年から 2013 年で合計 23 年間である。

c) データ

マクロ経済と電力部門の実績データは、国連統計局 (United Nations Statistics Division: UNSTAT) のデータベースを活用し、地域別・変電所別の電力需要実績は UETCL のデータを用いた。また、電気料金については ERA、電力需要家の契約数についてはウメメ社が提供している。

2) 前提条件

a) 人口

2014 年のウガンダ国勢調査によると、総人口は、2013 年末で約 3,486 万人である。

² マクロ経済の三面等価の原則では、国内総生産 (GDP) = 国内総支出 (GDE) である。

³ 発電所、変電所の所内電力消費等を指す。

一方、世界人口予測（2015年）に基づくと同国の人口は、1990年の約1,753万人から、2013年まで年平均3.4%で増加している。この人口の増加は、実に驚異であり、2013年の人口は、1990年に比べ2.1倍の増加となっている。この傾向は今後も続くと考えられ、本モデルでは国連の2014年から2030年までの人口推計結果の中間ケースの伸び率を外部変数として電力需要予測モデルに用いる。同人口推計結果によると、2013年以降のウガンダの人口増加率は2014年の3.2%より徐々に伸び率が逡減し、2030年には2.9%になる。同期間の年平均増加率は2.9%となっている。2030年ウガンダの人口は、6,193万人に達すると推計されている。

JICA調査団はGDPと異なり、表4-1-2.3に示す国連のデータに基づき想定を行った。

表 4-1-2.3 ウガンダの人口予測（2014～2030年）

| 年 | 人口 (千人) | 増加率 (%) |
|------|------------|------------|
| 2014 | 37,783 | 3.2 |
| 2015 | 39,032 | 3.3 |
| 2016 | 40,323 | 3.3 |
| 2017 | 41,653 | 3.3 |
| 2018 | 43,021 | 3.3 |
| 2019 | 44,423 | 3.3 |
| 2020 | 45,856 | 3.2 |
| 2021 | 47,321 | 3.2 |
| 2022 | 48,817 | 3.2 |
| 2023 | 50,345 | 3.1 |
| 2024 | 51,904 | 3.1 |
| 2025 | 53,497 | 3.1 |
| 2026 | 55,121 | 3.0 |
| 2027 | 56,777 | 3.0 |
| 2028 | 58,463 | 3.0 |
| 2029 | 60,181 | 2.9 |
| 2030 | 61,929 | 2.9 |

[出所] “World Population Prospects: The 2015 Revision”, Medium fertility variant (2015 - 20100), United Nation, Population Division, Department of Economic and Social Affairs

b) 海外要因

海外要因は主に貿易相手国の経済動向、為替レート、石油価格である。ウガンダの国際貿易バランスは、常に赤字が続いており、拡大傾向となっている。2013年の貿易バランスを見ると、輸出額が約28.3億米ドルに対して輸入額が約58.7億米ドルとなっており、30.4億米ドルの貿易赤字となっている。ウガンダの主要輸出品目をみると、コーヒーを始め、タバコ、茶、綿花など一次農産品である。特にコーヒーは、輸出額の17.7%を占めている。一方、2013年の輸入については石油と石油製品が輸入総額の22.5%を占めており、同年石油・石油製品に支払う総額が13.1億米ドルである。国際石油価格の変動はこの国の経済を大きく左右することとなる。

為替レートは、国内のエネルギーコストを評価するために重要な要素である。特に石油輸入国として、外貨が多く流出している。

c) 政府政策

政府政策は、このモデル分析において最も重要な要素である。一般的には、政府の財政支出が経済成長を促進するために有効なマクロ政策手段である。本モデルでは、政府支出・投資を外部変数としてマクロ経済モデルの中に取り入れ、この変数を変化させることによって必要な政府財政投入額を算出した。

3) 予測結果

a) マクロ経済

下表は、JICA 調査団によるマクロ経済モデルの予測結果を示す。前述したように、このマクロ経済モデルは、ウガンダ政府の財政支出を外部変数として、2030年までに継続的に前年比 14.0%増の財政拡大政策を続ける。この財政拡大政策により、実質経済成長率は年平均 7.5%で維持でき、農業、工業とサービス業の生産額も同計測期間内でそれぞれ年平均 6.6%、9.4%、7.2%で拡大する。

特徴的なのは、農業部門の割合が過去の減少傾向が今後も続くと予測され、2030年では全体に占める比率が 20.2%となっており、2013年の 25.3%と比べ割合が 5.1 ポイントの減少となった。これに対して、工業部門の割合が 2013年の 20.8%から拡大し、2030年には 24.6%となった。ウガンダの産業構造は、従来の農業部門への依存から徐々に工業化へと移行し始めたと言える。

表 4-1-2.4 ウガンダのマクロ経済モデルの予測結果 (2013~2030年)

| 項目 | 実績 (百万ウガンダシリング) | | | 予測値 (百万ウガンダシリング) | | | 年平均増加率 (%) | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|---------|---------|----------------|----------------|
| | 2000年 | 2010年 | 2013年 | 2020年 | 2025年 | 2030年 | 2020/ 2013年 | 2030/ 2013年 |
| 実質GDP (2010=100) | 20,104 | 40,946 | 48,422 | 72,125 | 107,050 | 165,555 | 5.9 | 7.5 |
| 成長率 (前年比、%) | 3.1 | 5.2 | 3.3 | 7.4 | 8.7 | 9.4 | | |
| セクター別GDP (2010=100) | | | | | | | | |
| 農業 | 8,112 | 10,732 | 11,364 | 17,270 | 23,507 | 33,497 | 6.2 | 6.6 |
| 工業 | 3,251 | 7,424 | 8,890 | 16,792 | 25,669 | 40,702 | 9.5 | 9.4 |
| サービス業 | 10,699 | 22,791 | 28,168 | 38,063 | 57,873 | 91,356 | 4.4 | 7.2 |
| セクター別GDPの構成比 (%) | | | | | | | | |
| 農業 | 27.5 | 26.2 | 25.3 | 23.9 | 22.0 | 20.2 | | |
| 工業 | 21.4 | 18.1 | 20.8 | 23.3 | 24.0 | 24.6 | | |
| サービス業 | 51.1 | 55.7 | 54.0 | 52.8 | 54.1 | 55.2 | | |
| 合計 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | |

[出所] JICA 調査団

b) 電力需要予測

電力需要予測については、ウガンダの合計電力需要量が 2013年の 3,000 GWh から年平均 7.8 %で増加し、2030年には 10,825 GWh に達する。UETCLによると、周辺 5 か国 (タンザニア、ケニア、ルワンダ、コンゴ民主共和国、南スーダン) への電力純輸出量は、同期間において年平均 19.4%で増加し、2013年の 90 GWh から 2030年の 1,822 GWh に拡大している。合計電力需要量に占める 2030年の電力輸出量のシェアは 16.8 %と高く、ウガンダにとって外貨獲得するために重要な輸出品目の一つとなっている。

表 4-1-2.5 ウガンダの電力需要予測結果 (2013~2030年)

| 項目 | 実績 (GWh) | | | 予測 (GWh) | | | 年平均増加率 (%) | |
|----------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|--------|----------------|----------------|
| | 2000年 | 2010年 | 2013年 | 2020年 | 2025年 | 2030年 | 2020/ 2013年 | 2030/ 2013年 |
| (1) 最終部門別電力需要量 | 843 | 1,521 | 2,048 | 3,523 | 5,051 | 7,619 | 8.1 | 8.0 |
| 工業 | 407 | 959 | 1,335 | 2,604 | 3,977 | 6,305 | 10.0 | 9.6 |
| 家庭 | 312 | 364 | 460 | 587 | 676 | 803 | 3.5 | 3.3 |
| 商業・その他 | 124 | 198 | 253 | 331 | 398 | 511 | 3.9 | 4.2 |
| (2) 発電所所内用電力量* | 6 | 9 | 10 | 12 | 13 | 15 | 2.3 | 2.3 |
| (3) 送配電ロス** | 461 | 791 | 852 | 1,065 | 1,217 | 1,369 | 3.2 | 2.8 |
| 比率(%) | 30 | 33 | 28 | 20 | 15 | 13 | | |
| (4) 国内需要 (1)+(2)+(3) | 1,310 | 2,321 | 2,910 | 4,600 | 6,282 | 9,003 | 6.8 | 6.9 |
| (5) 輸出入電力量 | 251 | 75 | 90 | 826 | 1,822 | 1,822 | 37.3 | 19.4 |
| (6) 合計電力需要量 (4)+(5) | 1,561 | 2,396 | 3,000 | 5,426 | 8,104 | 10,825 | 8.8 | 7.8 |
| 最終部門構成比(%) | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | |
| 工業 | 48.3 | 63.1 | 65.2 | 73.9 | 78.7 | 82.8 | | |
| 家庭 | 37.0 | 23.9 | 22.5 | 16.7 | 13.4 | 10.5 | | |
| 商業・その他 | 14.7 | 13.0 | 12.4 | 9.4 | 7.9 | 6.7 | | |

注* 発電所を運転するために消費する電力量である。

注** 2013年の送電損失は約3.5%で、配電ロスは約24.5%である。

[出所] JICA 調査団

国内の電力需要量は、2030年までに年平均6.9%で増加し、2030年には10,825 GWhになると予測した。その内訳は、7,619 GWhの電力量が最終部門で消費され、送配電ロスは1,369 GWhで、残りの15 GWhは発電所所内の電力消費量となっている。「送電網開発計画 2014-2030」によると、2013年の送電損失は3.5%であったが、この比率は徐々に改善され、2030年には3%までに抑えられる計画である。一方、2013年の送配電ロスは28%でかなり高かったが、実際は2008年の送配電ロスが34%に達しており、この5年間の送配電ロスが8%も改善された。ウメメ社によると、今後配電ロスの改善対策を推進し続け、2030年には14%まで引き下げる計画である。本モデルでも、過去の傾向に基づいて推計した結果では、2030年までの配電ロスが10%まで引き下げることが可能であると推計した。

2030年の最終部門別で電力需要量を見ると、工業部門は最大の電力需要部門となり、最終電力需要量に占める割合が82.8% (6,305 GWh) に達する。2013年から2030年までの年平均増加率は9.6%となり、最も高い率を示している。工業部門は電力需要の伸びを牽引しているセクターであり、2000年より成長が軌道に乗り、最終部門の電力需要量に占めるシェアも拡大し続けている。近年では、中国輸出入銀行支援による工業団地が首都圏の西側に数箇所の建設計画が進められており、中国企業の進出も増え続けている。工業部門における電力需要は今後も増加すると思われる。

c) カンパラ首都圏及び地域別の電力需要予測結果

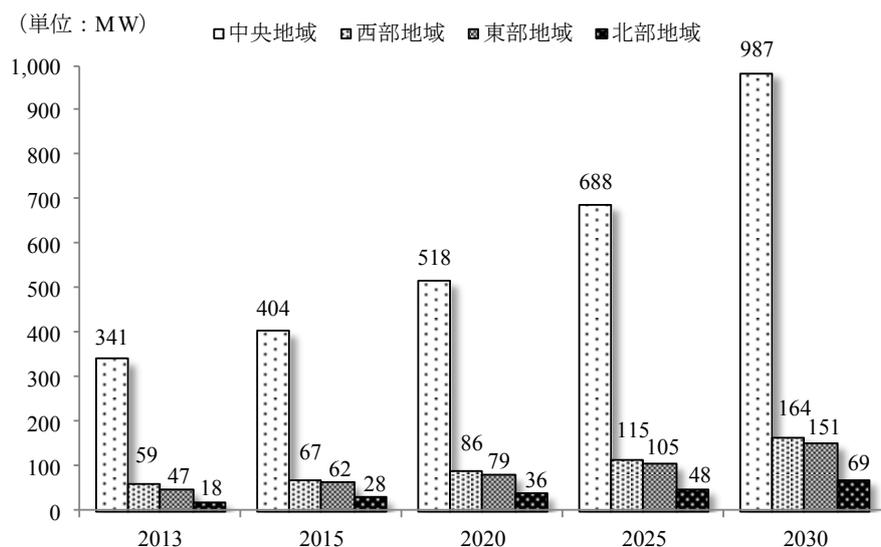
図4-1-2.3に示すように、中央地域(カンパラ首都圏に位置する変電所による配電区域)の電力需要量は、2013年の時点で341 MWとなっており、2030年には987 MWまでに拡大し、年平均6.4%で増加していく。カンパラ首都圏の電力需要の増

加を牽引しているのは冶金産業である。冶金産業は、その殆どがカンパラ首都圏または隣接している東部地域のジンジャに位置している。冶金産業は、全国の工業部門における電力需要量に占める比率が約6割である。また、首都圏東部に位置するルジラ工業団地、ムコノ工業団地、ナマンベ南工業団地、など複数の工業団地の開発が進められている。今後首都圏における電力需要の増加が工業部門を中心に増え続けていく。

東部地域では、キイラ・ナルバレ水力発電所とブジャガリ水力発電所があり、この2つの水力発電所からカンパラ首都圏に向けている送電線の沿線には電化が進んでいる地域である。特にジンジャ（Jinja）の周辺では、多くの製造業が集中している。本モデルでは、2030年東部地域の電力需要量を164 MWと予測した。2013年の59 MWにより年平均6.2%で増加している。

西部地域では、タンザニア、コンゴ民主共和国、ルワンダと国境線が接しており、この三ヵ国に対して電力を輸出するための送電線が整備されている。西部地域では、工業部門における電力の需要はあまり高くない。この地域では家庭における電力需要が主である。本モデルの推計結果では、西部地域の電力需要は2013年から2030年まで年平均7.1%で増加し、2030年には151 GWhに達する。

北部地域は、電化率が最も低い地域である。現在既存の132 kV送電線はトロロからオプヨ、リラまで一本だけである。2013年北部地域の電力需要量は僅か18 MW程度で、電化されている地域は限られている。「送電網開発計画 2014-2030」によると、この地域に太陽光発電所が6ヵ所、水力発電が3ヵ所と132 kVの変電所が7箇所新規建設される予定で、今後の電力普及がより速い速度で拡大していくと予想される。本モデルでは、北部地域の電力需要量の計測期間内で最も伸び率が大きく、年平均8.1%で増加していく。この地域の電力が普及すれば、家庭部門を中心に電力需要が伸びていくと想定される。



[出所] JICA 調査団

図 4-1-2.3 地域別の電力需要量予測 (2013~2030年)

(3) カンパラ首都圏の変電所単位の需要想定

計量経済学モデルにより需要想定を行った結果、ベースケースで年平均 6.4%の成長率であることが導かれ、各変電所の需要は年次経過とともに増大していく見込みである。一方で、計画されている新設及び増強される変電所の運転開始に伴い、既存の変電所の負荷の一部は、首都圏に混在する 33 kV 系統と 11 kV 系統を通じて、それら新設及び増強される変電所に負荷移転されることになる。配電系統を踏まえつつ、UETCL 計画部と確認した負荷の移転計画を表 4-1-2. 6 に示す。新設及び増強される変電所の 2 次側母線が全て 33 kV であるため、同表の右側に示される既設変電所の 33 kV 負荷が、左側に示す新設及び増強される変電所の 33 kV 母線に移転される計画である。

本事業で整備される 132/33 kV のプロバ変電所、カワラ変電所は、表 4-1-2. 6 に示すように、採択され、2018 年 12 月に業者契約が締結された場合、2020 年に供用開始となる。なお、本事業の 220/132 kV 新ムコノ変電所及びプロバ変電所の 132/33 kV の設備は上位の連系変電設備であるため、配電負荷には直接供給しない。また、本事業で整備するカワラ変電所の 132/11 kV 変電設備 (20 MVA) は、本事業にあたって撤去される同変電所の既存 132/11 kV 変電設備 (15 MVA) の負荷を継承する。

表 4-1-2. 6 既存変電所から新設変電所への負荷移転計画

| 運転開始 | 新設変電所 もしくは 増強 | 計画容量 | 負荷が軽減される既設変電所 |
|--------|-----------------|------------|---------------------------|
| 2017 年 | クイーンズウェイ変電所 新設 | 40 MVA×3 台 | ● ルゴゴ変電所 ● ムトゥンドゥエ変電所 |
| 2018 年 | ルジラ変電所 新設 | 40 MVA×3 台 | ● ルゴゴ変電所 |
| | エンテベ変電所 新設 | 40 MVA×3 台 | ● ムトゥンドゥエ変電所 |
| 2019 年 | ガバ変電所 新設 | 40 MVA×3 台 | ● ルゴゴ変電所 ● クイーンズウェイ変電所 |
| 2020 年 | プロバ変電所 (本事業) 新設 | 40 MVA×2 台 | ● ムトゥンドゥエ変電所 |
| | カワラ変電所 (本事業) 新設 | 40 MVA×3 台 | ● カンパラ北変電所 |
| | カワラ変電所 増設 | 40 MVA×1 台 | ● カンパラ北変電所 |

[出所] UETCL 計画部との協議による

本事業の系統計画の目標年次は 2030 年であり、10 年以上の予測期間であるため、今回のように計量経済学的モデルを活用した回帰分析にあたっては、予測期間と同等以上の長さの過去の時系列データが必要となる。相関係数、ダービン・ワトソン係数の視点から本モデルの検定は行うものの、UETCL の「送電網開発計画 2014-2030」の需要想定と大きな乖離が無いかも検証できるよう、想定期間を 2014 年から 2030 年と合わせるとともに、過去の時系列データとしては 1990 年から 2013 年のデータを活用した。比較検証を行った結果、前述のように既存の想定とも大きな乖離が無いという観点からも妥当なモデルであることが確認された。

表 4-1-2. 6 に示した既存変電所から新設変電所への負荷移転計画を踏まえながら、計量経済モデルで想定した首都圏の需要想定を各変電所に配分した結果を表 4-1-2. 7 に示す。予測期間は UETCL の「送電網開発計画 2014-2030」と同様に 2014 年から 2030

年であり、同表に示す 2013 年データは実績値である。表 4-1-2. 7 の 2030 年の需要を前提条件として系統計画を策定する。

表 4-1-2. 7 の最上段に示した赤字が、計量経済学モデルに予測した首都圏全体の需要であり、これを各変電所の 11 kV 母線及び 33 kV 母線に配分している。変電所名が水色で網掛けしているものが 2016 年現在の既存の変電所であり、緑で網掛けをしているのが本事業で整備する変電設備である。

表 4-1-2. 7 において、黄色、橙色、青色で網掛けをしている箇所がある。各年において同じ色の網掛けをされている箇所は、新設及び増強される変電所の運転開始に伴い、表 4-1-2. 6 に示した方針に基づき、既存の変電所から新設及び増強される変電所に負荷移転が行われていることを表している。

なお、表 4-1-2. 7 において、紫色で網掛けされている年次は、後述する潮流解析の解析断面である。2015 年現在、中国輸出入銀行の支援によりカンパラ首都圏に整備される変電所が運転開始する 2018 年、本事業の節便の運転開始年である 2020 年、本事業のプロジェクト評価年次である 2022 年、並びに、本事業の系統計画の目標年次である 2030 年を解析断面としている。

表 4-1-2.7 カンパラ首都圏の変電所 母線ごとの需要分布

| Region | | Start Operation (Year) | | Demand (MW) | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | | | | |
|---------------|--------|------------------------|---------|-------------|-------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|-----|
| | | | | MW | 341 | 359 | 404 | 412 | 454 | 465 | 490 | 518 | 534 | 567 | 604 | 644 | 688 | 737 | 791 | 850 | 915 | 987 | | | | |
| Lugogo | 132/11 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | Existing | 1991*1, 1997*3 | | MW | 33 | 33 | 45 | 45 | 48 | 48 | 50 | 52 | 52 | 55 | 56 | 56 | 57 | 57 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| | 132/33 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | Existing | | | MW | 56 | 61 | 70 | 71 | 53 | 40 | 33 | 38 | 38 | 38 | 38 | 41 | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 | |
| Mutundwe | 132/11 | 20 MVA | 2 Units | 40 MVA | Existing | 1991*1, 1995*1, 2003*2 | | MW | 19 | 19 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 25 | 25 | 26 | 27 | |
| | 132/33 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | Existing | | | MW | 56 | 61 | 70 | 71 | 53 | 40 | 46 | 31 | 32 | 34 | 34 | 35 | 35 | 36 | 42 | 45 | 49 | 53 |
| Namanve | 132/33 | 40 MVA | 3 Units | 120 MVA | Existing | 2007*2, 2008*1 | | MW | 42 | 50 | 59 | 64 | 73 | 29 | 34 | 34 | 34 | 37 | 41 | 45 | 50 | 55 | 60 | 66 | 73 | 80 |
| Kampala North | 132/11 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | Existing | 1995*1, 2006*2 | | MW | 48 | 48 | 48 | 48 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 51 | 51 | 51 | 52 | 52 | 52 | 53 | 53 | |
| | 132/33 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | Existing | | | MW | 56 | 56 | 58 | 59 | 61 | 63 | 65 | 22 | 24 | 27 | 30 | 33 | 37 | 41 | 46 | 51 | 51 | 52 |
| Kawaala | 132/11 | 15 MVA | 1 Units | 15 MVA | Existing | 1972 | | MW | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | 132/11 | 20 MVA | 1 Units | 20 MVA | the Project | 2020 | | MW | | | | | | | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | |
| | 132/33 | 40 MVA | 3 Units | 120 MVA | the Project | 2020 | | MW | | | | | | | 35 | 38 | 41 | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 | 65 | 70 | 75 | |
| Kawanda | 132/33 | 40 MVA | 1 Units | 40 MVA | Existing | | | MW | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 26 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 16 | 17 | |
| | 132/33 | 40 MVA | 1 Units | 40 MVA | the Project | 2020 | | MW | | | | | | | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 16 | 17 | |
| Queensway | 132/33 | 40 MVA | 3 Units | 120 MVA | | 2017 | | MW | | | | | 60 | 61 | 50 | 55 | 55 | 57 | 61 | 61 | 62 | 63 | 64 | 66 | 72 | 80 |
| Luzira | 132/33 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | | 2018 | | MW | | | | | | 14 | 17 | 20 | 20 | 22 | 25 | 28 | 29 | 31 | 33 | 36 | 37 | 40 |
| Namanve South | 132/33 | 63 MVA | 3 Units | 189 MVA | | 2018 | | MW | | | | | | 25 | 26 | 31 | 35 | 38 | 42 | 51 | 61 | 69 | 76 | 85 | 98 | 110 |
| Mukono | 132/33 | 63 MVA | 3 Units | 189 MVA | | 2018 | | MW | | | | | | 25 | 26 | 31 | 35 | 38 | 42 | 51 | 61 | 69 | 76 | 85 | 96 | 110 |
| Entebbe | 132/33 | 80 MVA | 2 Units | 160 MVA | | 2018 | | MW | | | | | | 14 | 17 | 20 | 20 | 22 | 26 | 28 | 30 | 36 | 45 | 49 | 55 | 60 |
| Gaba | 132/33 | 60 MVA | 2 Units | 120 MVA | | 2019 | | MW | | | | | | | 18 | 20 | 21 | 24 | 26 | 28 | 30 | 31 | 33 | 36 | 38 | 40 |
| Buloba | 132/33 | 40 MVA | 2 Units | 80 MVA | the Project | 2020 | | MW | | | | | | | 21 | 21 | 25 | 27 | 28 | 29 | 31 | 33 | 36 | 38 | 40 | |

[出所] UETCL 計画部との協議に基づき JICA 調査団作成

(4) レファレンスケース

上述したシナリオは、ウガンダ政府が2030年まで継続的に拡大財政政策を堅持し、高い経済成長率（7.7%）を維持した場合の電力需要予測分析結果である。本モデル分析は、ウガンダ政府の拡大財政支出が維持できず、追加対策が行われない場合、現行ベースで経済を運営したレファレンスケースを分析した。表4-1-2.8にマクロ経済モデルの予測結果を示している。

表 4-1-2.8 ウガンダのマクロ経済モデルの予測結果—レファレンスケース（2013年—2030年）

| 項目 | 実績 (百万ウガンダシリング) | | | 予測値 (百万ウガンダシリング) | | | 年平均増加率 (%) | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|--------|---------|----------------|----------------|
| | 2000年 | 2010年 | 2013年 | 2020年 | 2025年 | 2030年 | 2020/ 2013年 | 2030/ 2013年 |
| 実質GDP (2010=100) | 20,104 | 40,946 | 48,422 | 67,137 | 90,199 | 123,480 | 4.8 | 5.7 |
| 成長率 (前年比、%) | 3.1 | 5.2 | 3.3 | 5.6 | 6.3 | 6.6 | | |
| セクター別GDP (2010=100) | | | | | | | | |
| 農業 | 8,112 | 10,732 | 11,364 | 16,075 | 19,807 | 24,984 | 5.1 | 4.7 |
| 工業 | 3,251 | 7,424 | 8,890 | 15,630 | 21,629 | 30,358 | 8.4 | 7.5 |
| サービス業 | 10,699 | 22,791 | 28,168 | 35,431 | 48,763 | 68,138 | 3.3 | 5.3 |
| セクター別GDPの構成比 (%) | | | | | | | | |
| 農業 | 36.8 | 26.2 | 23.5 | 23.9 | 22.0 | 20.2 | | |
| 工業 | 14.7 | 18.1 | 18.4 | 23.3 | 24.0 | 24.6 | | |
| サービス業 | 48.5 | 55.7 | 58.2 | 52.8 | 54.1 | 55.2 | | |
| 合計 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | |

[出所] JICA 調査団

現行ベースで推計したマクロ経済モデルでは、ウガンダの産業構造が農業部門に依存しているところが多い。工業部門の生産要素である労働力・土地・資本が徐々に形成されているが、依然として脆弱である。工業部門における投資は、国内資本よりも外資に依存せざるを得ない。一方、近年の政治体制が比較的安定し、経済運営がスムーズに行われている状況にあり、外部要素である国際石油価格も低い水準で推移しているため、ウガンダの経済は堅調に成長していくと予想される。マクロ経済モデルの推計結果では、同国のGDP増加率が2030年までに年平均5.7%で拡大すると予測し、ベースケースにより1.8%を下げる事となる。

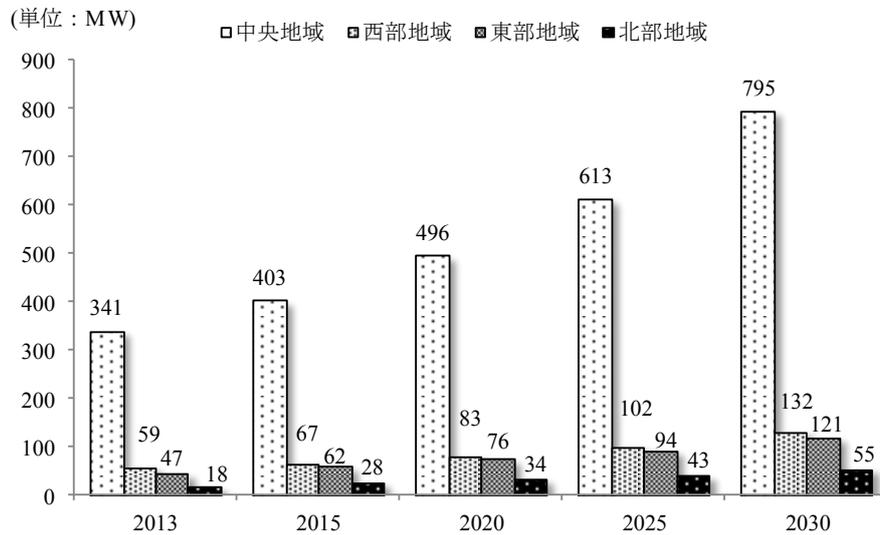
表4-1-2.9は電力需要予測結果を示している。レファレンスケースの経済状況の中で、国内電力需要量は2030年までに年平均5.5%で増加しているが、ベースケースに比べると1.4%減となり、2030年には7,251 GWhに達する。経済成長が緩やかになったことで工業部門の電力需要量も相対的に低下することとなり、同部門の電力需要の伸び率は、ベースケースに比べ1.9%落とし、同期で年平均7.7%となっている。また、最終部門における工業部門の電力消費量の構成比も2%減で、80.8%となる。

表 4-1-2.9 ウガンダの電力需要予測結果—レファレンスケース (2013年—2030年)

| 項目 | 実績 (GWh) | | | 予測 (GWh) | | | 年平均増加率 (%) | |
|----------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| | 2000年 | 2010年 | 2013年 | 2020年 | 2025年 | 2030年 | 2013~ 2020年 | 2013~ 2030年 |
| (1) 最終部門電力需要量 | 843 | 1,521 | 2,048 | 3,330 | 4,364 | 5,867 | 7.2 | 6.4 |
| 工業 | 407 | 959 | 1,335 | 2,436 | 3,372 | 4,738 | 9.0 | 7.7 |
| 家庭 | 312 | 364 | 460 | 569 | 621 | 689 | 3.1 | 2.4 |
| 商業・その他 | 124 | 198 | 253 | 325 | 371 | 439 | 3.6 | 3.3 |
| (2) 発電所内用電力量* | 6 | 9 | 10 | 12 | 13 | 15 | 2.3 | 2.3 |
| (3) 送配電ロス 比率 (%) | 461 30 | 791 33 | 852 28 | 1,065 20 | 1,217 16 | 1,369 15 | 3.2 | 2.8 |
| (4) 国内需要 (1)+(2)+(3) | 1,310 | 2,321 | 2,910 | 4,407 | 5,595 | 7,251 | 6.1 | 5.5 |
| (5) 輸出入電力量 | 251 | 75 | 90 | 826 | 1,822 | 1,822 | 37.3 | 19.4 |
| (6) 合計電力需要量 (4)+(5) | 1,561 | 2,396 | 3,000 | 5,233 | 7,417 | 9,073 | 8.3 | 6.7 |
| 最終部門構成比 (%) | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | |
| 工業 | 48.3 | 63.1 | 65.2 | 73.2 | 77.3 | 80.8 | | |
| 家庭 | 37.0 | 23.9 | 22.5 | 17.1 | 14.2 | 11.7 | | |
| 商業・その他 | 14.7 | 13.0 | 12.4 | 9.7 | 8.5 | 7.5 | | |

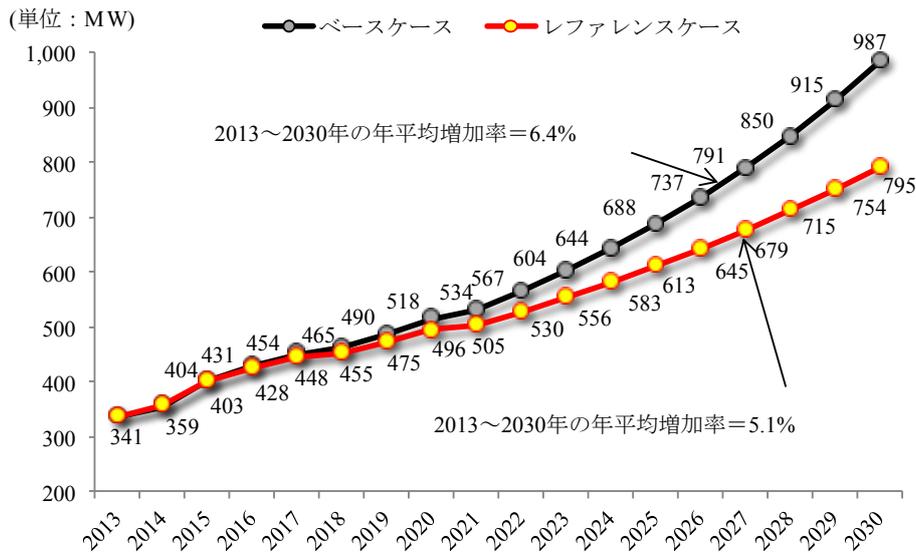
[出所] JICA 調査団

一方、図 4-1-2.4 の示すとおり、中央地域（カンパラ首都圏に位置する変電所による配電区域）の需要量は、2013年の341 MW から2030年の795 MW まで年平均5.1%で増加する。ベースケースの6.4%に比べて、レファレンスケースの場合は1.3%落としている。同期における西部地域、東部地域及び北部地域の年平均増加率は、それぞれ4.9%、5.8%、6.7%となっている。



[出所] JICA 調査団

図 4-1-2.4 地域別の電力需要量予測—レファレンスケース (2013年—2030年)



[出所] JICA 調査団

図 4-1-2.5 カンパラ首都圏の電力需要予測結果とケース比較 (2013~2030 年)

4-1-3 系統計画の必要性及び系統計画の方針

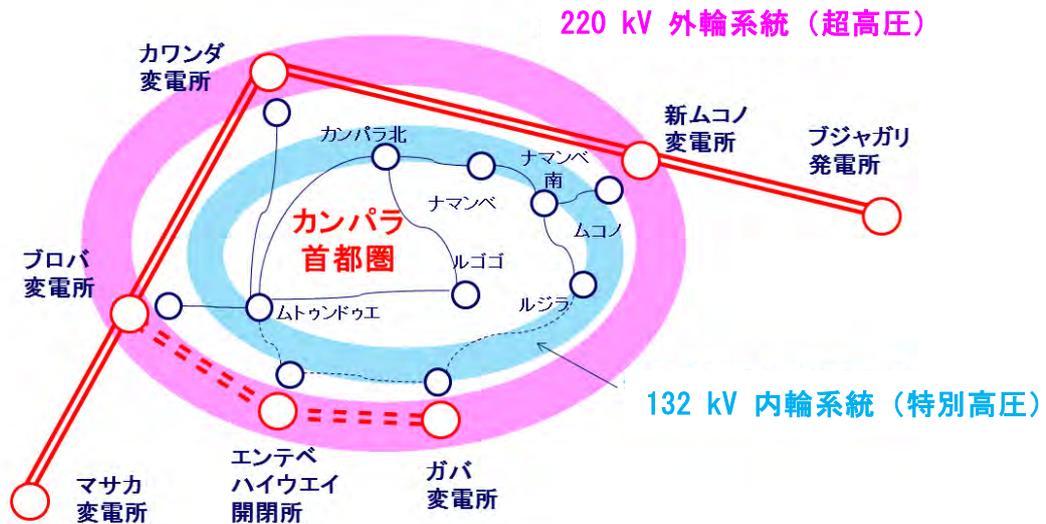
前述のように、2030 年までにカンパラ首都圏の需要は 6.4%/年程度（ベースケース）の急激な増大が想定されており、現在の供給幹線である 132 kV 送電網では供給容量が将来的に不足することは確実である。したがって、中長期的（10 年から 15 年程度）観点においても流通設備の大幅な増強が不可欠である。この設備増強に当たっては、流通設備はネットワークとして機能するものであるため、場当たりの対策ではなく、132 kV 内輪系統の外側に 220 kV の外輪系統を構成する等、カンパラ首都圏全体を俯瞰しながら、需要増大の推移に応じて系統計画を策定し、具体的な事業コンポーネントを抽出することが肝要である。

しかしながら、UETCL の既存の「送電網開発計画 2014-2030」では、開発が進められている大規模水力発電所の電力を長距離送電するために、超高圧である 220kV を超える送電線の活用が当国にて計画されているものの、電力の大消費地であるカンパラ首都圏への有効活用については、十分な計画が確認できない現状にある。

一般に、需要が増大した大都市の周辺では、都市部の需要増加に対する十分な対応能力と高信頼性を兼ね備えた系統構成とするため、超高圧外輪線を構成することが有効である。カンパラ首都圏の 132kV 送電線は環状に構成されており、特別高圧内輪線とも呼べるものとなっているが、カンパラ首都圏の将来の系統構成を考える際には、図 4-1-3. 1 のように、将来的には、それに加えて 220 kV 超高圧外輪線の形成に資するよう計画を策定すべきである。

需要増大に対する首都圏への十分な供給容量を確保するため、図 4-1-3. 1 に赤線で示している現在、132kV 送電線として運用されているブジャガリ発電所-カワンダ変電所間の送電線が 2017 年に 220kV へ昇圧される（220kV で設計されている設備である）。また、2017 年には、カワンダ変電所-マサカ変電所の 220kV 送電線の運転開始が計画されており、首都圏外と首都圏間の 220 kV 送電線による電力流通が確保される。これらの 220kV 送電線を 220 kV 外輪線の一部として活用しながら、将来的には、図 4-1-3. 1 の紫線で示す外輪系統を構成し、都市部の需要増加に対する十分な対応能力と高信頼性を兼ね備えた系統構成とすることが極め

て有効である。



〔出所〕 JICA 調査団

図 4-1-3.1 超高压外輸線(220kV)と特别高压内輸線(132kV)のイメージ

ブジャガリ発電所ーカワンダ変電所間の 220kV 送電線、カワンダ変電所ーマサカ変電所間の 220kV 送電線をカンパラ首都圏の 220 kV 外輸線の一部として活用するためには、技術面のみならず、環境社会配慮面も考慮し、それら 220kV 送電線上に首都圏への供給点となる 220 / 132 kV 変電所を計画することがその初期段階であり、中長期的（10 年から 15 年程度）観点からは最も重要な課題である。

カンパラ首都圏系統の概況から判断すると、商業・一般需要家の電力需要が急激に増大しているカンパラ首都圏南西地域へ供給力強化を目的とした、カンパラ首都圏西部地域への 220 / 132 kV 変電所の新設が、220 kV 送電線から首都圏への供給点を確保する観点から有効と判断される。並びに、今後工業団地開発が計画されているカンパラ首都圏東部地域への 220 / 132 kV 変電所の新設が、220 kV 送電線から首都圏への供給点を確保する観点から有効と判断される。また、既存の 132kV 内輸系統も、今後の需要増大を踏まえるとその容量不足を引き起すことは確実であるが、環境社会配慮の面も考慮すると追加的な送電線の新設は困難である。したがって、既存の鉄塔を活用しつつ、高熱容量低弛度（High-Temperature Low-Sag : HTLS）電線による張替えを行い、増容量化する等の対策工事が今後の需要増大を考慮すると必要となると判断される。

このようなカンパラ首都圏における 220 / 132 kV 変電所の新設、HTLS 電線による 132 kV 送電線の張替え等、同地域の現状から有効と考えられる流通設備の増強事業をシナリオとして複数設定しながら、2030 年を目標年次とする系統計画を策定する。

なお、本系統計画は、世界銀行によるカワンダ変電所ーマサカ変電所間の送電線建設、中国輸出入銀行の支援によるムコノ変電所、ナマンベ南変電所、ルジラ変電所の新設計画等、すでに実施段階に進んでいる計画については反映し、2030 年断面までの系統計画を策定する。JICA 調査団は、2015 年、2018 年（ナマンベ南変電所、ルジラ変電所、ムコノ変電所等、首都圏における他ドナーの主要計画の運転開始年）、2020 年（本事業設備の運転開始年）、2022 年（運転開

始年の2年後であるプロジェクト評価年)及び2030年(系統計画の目標年次)の5断面を対象として系統変遷を整理する。

4-1-4 首都圏の系統計画策定のためのシナリオ設定

前述のように、220 kV 外輪系統の形成にあたっては、それら 220 kV 送電線上に首都圏への供給点となる 220 / 132 kV 変電所を計画することが重要な課題である。なお、首都圏では新たな用地取得が難しいという側面も踏まえ、技術面のみならず、実現可能な計画とするために環境社会配慮面も考慮することが不可欠である。これを踏まえ、以下のような方針に基づきシナリオ設定を行う。

なお、シナリオ設定をおこなうにあたって、カンパラ首都圏への送電ルートを図 4-1-4.1 に示すように、便宜的に北側ルート、南西側ルート、東側ルートと呼ぶ。



[出所] JICA 調査団

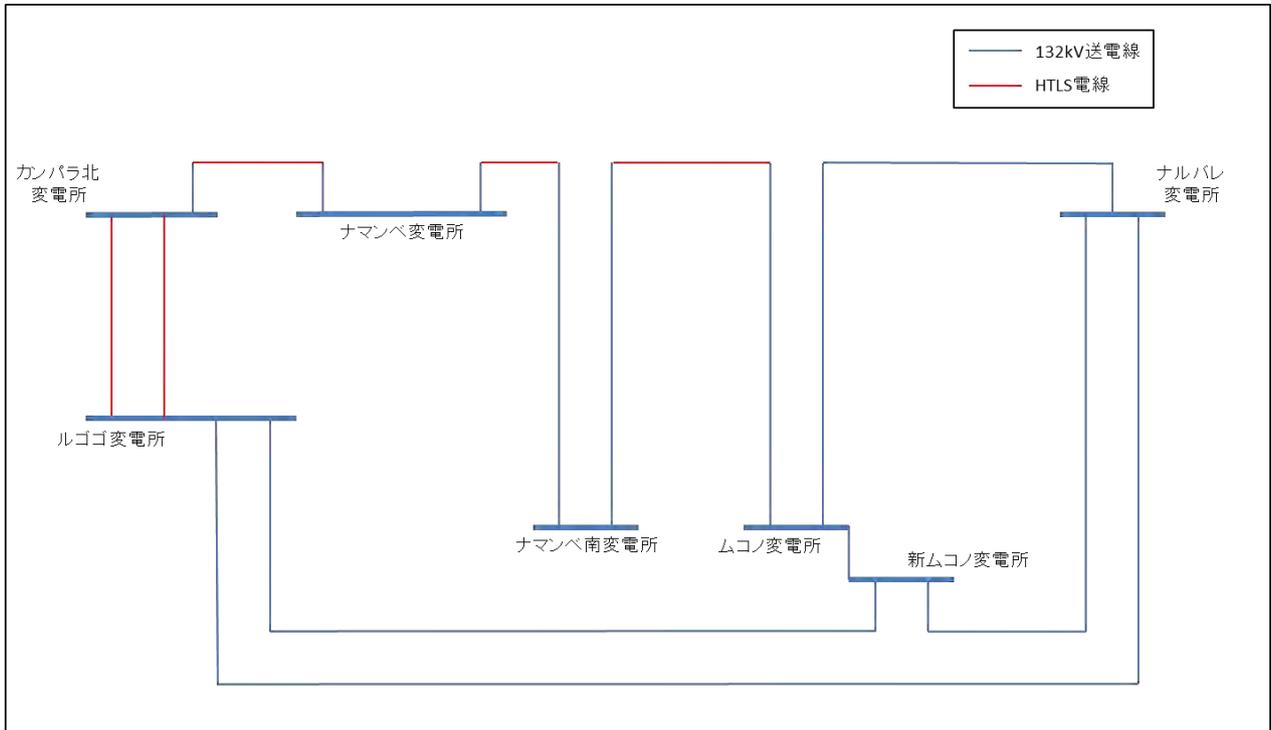
図 4-1-4.1 カンパラ首都圏への3送電ルート

(1) 220 / 132 kV 新ムコノ変電所に係るシナリオ設定 (東側系統に関する検討)

カンパラ首都圏の概況から判断すると、図 4-1-4.1 の東側ルート上に工業団地が計画されているため、その周辺に 220 / 132 kV 変電所の新設することが有効である。しかしながら、計画対象地が首都圏という前提条件のため、用地選定に関して自由度は高くない。UETCL と協議を行った結果、中国輸出入銀行の支援による 132 / 33 kV ムコノ変電所内に本事業の 220 / 132 kV 新ムコノ変電所を配置することを一つの前提条件としてシナリオ設定を行うこととした。

この 220 / 132 kV 新ムコノ変電所を通じて首都圏へ電力供給を行うにあたっては、周辺の既存の 132 kV 送電線が容量不足に陥ることが確実であるため、周辺の 132 kV 送電線の増強を合わせて計画することが不可欠である。前述のように、首都圏では 132 kV 送電線の増強のために新たな送電線ルートを確保することは困難であり、HTLS 電線による既存の電線の張替えを行い、増容量化が有効な方法として考えられる。これを踏まえ、220 / 132 kV 変電所の新設を前提条件とし潮流解析を通じて HTLS 電線を採用する区間を区間の最適化を行う。

なお、220 / 132 kV 新ムコノ変電所に関しては、図 4-1-4. 2 のように、ナルバレ変電所ーカンバラ北変電所間 132 kV 送電線からの引込線を確保するため、本事業の 220/132kV 新ムコノ変電所と中国輸出入銀行の 132 / 33 kV ムコノ変電所の 132kV 母線を母線連絡線で接続する。なお、同図の赤線が HTLS 電線で増強することを想定している 132 kV 送電線である。



[出所] JICA 調査団

図 4-1-4.2 220/132kV 新ムコノ変電所の新設

また、ブジャガリ変電所ーカワンダ変電所間 220 kV 送電線を有効活用するためには、ブジャガリ発電所及びイシンバ発電所からの電力がこの 220 kV 送電線を通じて首都圏へ供給されるよう、系統運用を行う必要がある。しかしながら、ブジャガリ発電所の 220 / 132 kV 連系変圧器のインピーダンスを考慮すると、220 kV 送電線を介することなく、大部分がナルバレーーカンバラ北間 132 kV 送電線 及び ナルバレーールゴゴ間 132 kV 送電線を通じて首都圏へ供給される可能性がある。これを回避するためには、ナルバレーーブジャガリ間 132 kV 送電線を開運用し、220 kV 送電線を有効活用する方法等が考えられる。系統計画の策定にあたっては、この運用も考慮しながら検討を行うこととする。

以上を踏まえ、220 / 132 kV 新ムコノ変電所に係るシナリオ設定を以下のように行い系統計画を策定する。これらの新ムコノ変電所に関するシナリ 1-1 から 1-3 は、相互に比較検証を行うシナリオ設定という位置付けではなく、シナリオ 1-1 から 1-3 というステップを踏みながら、最適な系統計画を特定していくという位置づけである。

- シナリオ 1-1：ナルバレ変電所ーブジャガリ変電所間 132 kV 送電線を「閉」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ。

- シナリオ 1-2：ナルバレ変電所ーブジャガリ変電所間 132 kV 送電線を「開」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ。
- シナリオ 1-3：シナリオ 1-2 での HTLS 電線の採用区間を最適化するシナリオ。

なお、HTLS 電線の採用区間を最適化する重要性は、以下のとおりである。

一般に、既存電線と同等の導体サイズ、重量等で高容量を確保できるため、既存の鉄塔改造等を回避しつつ大幅な送電路の増容量化が図れる長所がある。しかしながら、小さい断面のままで高容量を実現するため、数倍大きな断面積となる同容量の通常電線である ACSR 電線よりも抵抗値が大きい。したがって、特に長い区間に採用した場合、大きな送電損失が生じる。

例えば、HTLS 電線であるインバ電線（Super Thermal-resistant aluminum Alloy Conductor al-cla Invar Reinforced: ZTACIR 201）（最大電流容量：1,010A）は、ほぼ同容量である通常電線である ACSR 610（最大電流容量：1,059A）に比べ断面積が約 1/3 であることから抵抗値が約 3 倍（20℃時）となるため、同じ電流値での送電損失も約 3 倍となる。また、実際の運用で両者に最大電流を流した場合（ZTACIR 201 の電線温度：210℃、ACSR 610 の電線温度：90℃）、ZTACIR 201 の抵抗値は ACSR610 の約 4 倍となるため、送電損失も約 4 倍となる。

この送電損失の差は、短区間ではあまり問題とならないものの、亘長が約 70km もあるナルバレ変電所ーカンパラ北変電所 132kV 間の送電線等に適用した場合、大きな問題として顕在化してくる。したがって、一時的ではなく日々の運用で常時発生する送電損失を抑制するための方策を考える必要がある。送電損失を抑制するための方策としては、HTLS 電線の区間を最小化することが肝要である

また、電流が大きくなる 132kV 送電線ではなく電流が小さくて済む 220 kV 送電線にできるだけ電力潮流を乗せることが有効である。なお、同じ電線を使用して同じ量の電力を送電する場合、220kV 送電線での送電損失は、132kV 送電線でのその 0.36 倍（ $= (132/220)^2$ ）となる。すなわち、送電損失は、電圧値の 2 乗に反比例する（電流値の 2 乗に比例する）。

(2) 220 / 132 kV ブロバ変電所に係るシナリオ設定（南西側系統に関する検討）

カンパラ首都圏の概況から判断すると、商業・一般需要家の電力需要が急激に増大しているカンパラ首都圏南西地域へ供給力強化を目的とし、図 4-1-4. 1 の南西側ルート周辺に 220 / 132 kV 変電所を新設することは、上位系統である 220 kV 送電線から首都圏への供給点を確保する観点から有効と判断される。一方で、計画対象地が首都圏という前提条件のため、前述の新ムコノ変電所と同様、用地選定に関して自由度は高くない。UETCL とサイト状況踏査を行った結果、カワ ندا変電所ーマサカ変電所間 220 kV 送電線とムトゥンドゥエ変電所ーカブラソケ変電所間 132 kV 送電線の交点付近に 220 / 132 kV ブロバ変電所を配置することを一つの前提条件としてシナリオ設定を行う方針となった。

この 220 / 132 kV ブロバ変電所を計画の前提条件とした場合、末端の需要地であるガバ、エンテベといった地域までどの電圧階級で、また、どのような経路で供給することが最適かを見極めることが重要となる。電圧階級に関しては、具体的には、末端まで 132 kV 送電

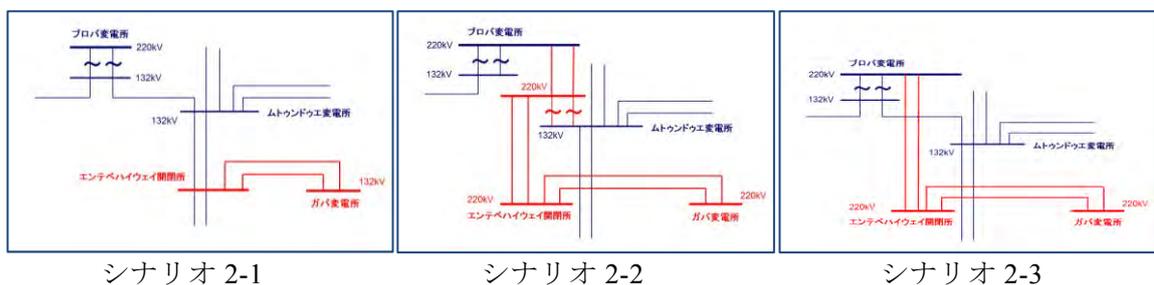
線による供給で十分か、220 kV 送電線が必要かという点を見極める必要がある。経路に関しては、周辺に重負荷地域であるムトゥンドゥエ変電所が存在することから、ムトゥンドゥエ変電所を介してそれら末端の需要地まで供給することが妥当か、そこを介さず末端の需要地まで直接供給できる経路を計画することが妥当か見極める必要がある。

なお、ガバ変電所の周辺は住宅が広がっており、送電ルートを確保するのが特に困難であるが、ガバ変電所周辺から西に向かって道路新設の計画があるため、これに沿って新設送電線ルートを構築していくのが有効である。また、この道路がムトゥンドゥエ変電所からエンテベ変電所への新設予定の 132kV 送電線と近い将来に交差するため、ここで図 4-1-4. 3 のシナリオ 2-1 のように同送電線から新設送電線を分岐するようにすれば、ムトゥンドゥエ変電所を介する経路とする場合も、介さない経路とする場合も、比較的容易にガバ変電所への 132kV 送電線ルートを構築することが可能である。また、潮流解析の結果、末端まで 132 kV 送電線による供給が不可能で、220 kV 送電線が必要となるのであれば、特に用地取得が難しい前述の分岐点からガバ変電所までの区間は、220 kV 設計、当初運用 132kV とすることで、将来的な用地取得を軽減できる。

なお、この分岐については、開閉所を配置することを想定してシナリオ設定を行う。以下、この開閉所をエンテベハイウェイ開閉所と称す。

以上を踏まえ、220 / 132 kV ブロバ変電所に関しては以下のシナリオ設定を行う。ブロバ変電所（南西側系統）に関するシナリオを図示すると図 4-1-4. 3 のようになる。

- シナリオ 2-1: 2017 年供用開始予定であるムトゥンドゥエ変電所—エンテベ変電所間 132 kV 送電線をエンテベハイウェイ開閉所でガバ変電所へ分岐するシナリオ
- シナリオ 2-2: ブロバ変電所からムトゥンドゥエ変電所へ 220kV 送電線を引込み、さらにムトゥンドゥエ変電所からエンテベハイウェイ開閉所経由でガバ変電所へ 220kV 送電線を引込むシナリオ
- シナリオ 2-3: ブロバ変電所から、ムトゥンドゥエ変電所を経由せず、エンテベハイウェイ開閉所経由でガバ変電所へ 220kV 送電線を引込むシナリオ（ムトゥンドゥエ変電所などの市街地を避ける）



[出所] JICA 調査団

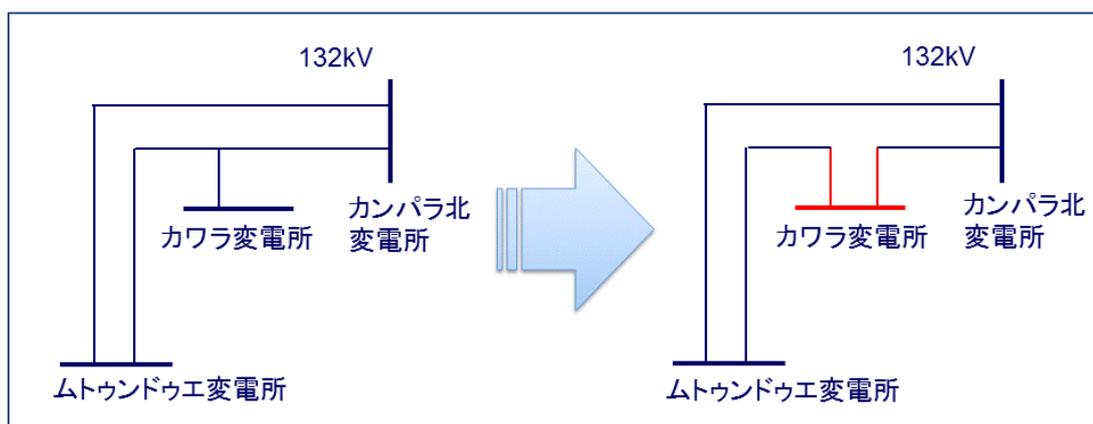
図 4-1-4.3 ブロバ変電所（南西側系統）に関するシナリオ

(3) カワラ変電所に関する前提条件

カワラ変電所は、現在、電圧階級 132 / 11 kV、設備容量 15 MVA であるが、2030 年には、

逼迫しているカンパラ北変電所からの負荷移転も考慮すると、33 kV 負荷が 75 MW、11 kV 負荷が 13 MW と想定されており、設備増強が必要な状況にある。

また、カンパラ北変電所ームトウンドウエ変電所間の 132kV 送電線についても、現在カワラ変電所が T 分岐で引き込まれているが、これでは同区間の全ての送電線の事故停止でカワラ変電所が全停電となる。上記のような需要増大を考慮すると、単一の送電線の事故停止による全停電を回避するため、図 4-1-4. 4 の左側に示すような現状の T 分岐から、図 4-1-4. 4 の右側に示すようなオープンパイ分岐に変更し、供給信頼度を改善することが不可欠であるため、系統計画にあたってはこれを考慮する。



[出所] JICA 調査団

図 4-1-4.4 カンパラ北変電所からムトウンドウエ変電所間の 132kV 送電線

なお、導入する 132/33kV 変圧器の単機容量については、変圧器の N-1 事故も考慮すると、75 MW という需要から、ウガンダでこの電圧階級の変圧器に一般的な容量 40 MVA を採用し、3 台構成で総容量が 120 MVA とすることが考えられる。活用できる用地の制約から既存の小容量の設備を撤去し、ガス絶縁開閉装置を採用し省スペース化を図りながら変電所の増強を行う方針であるが、ガス絶縁開閉装置を採用した場合でも、総容量 120 MVA するためには、60MVA×2 台では幅方向は用地内に収まるが、長手方向の寸法が不足するため、40MVA×3 台とせざるを得ない。これらを考慮し、カワラ変電所に関しては、既存の敷地内にガス絶縁開閉装置を活用し、電圧階級 132/11 kV で設備容量 20 MVA の変圧器 1 台、電圧階級 132/33 kV で設備容量 40 MVA の変圧器 3 台で設備増強を行うこととする。

4-2 潮流解析

設定したシナリオを検証する形で 2030 年を目標年次とする最適な系統計画を策定する。なお、潮流図については、図 4. 1 から図 4. 1 4 として第 4 章の章末にまとめて添付し、参照の便宜を図る。

4-2-1 潮流解析の基本方針

「4-1-4 首都圏の系統計画策定のためのシナリオ設定」で設定した検証すべきシナリオは、表 4-2-1. 1 のように要約されるが、この検証には潮流解析モデルを構築し、変電所単位の需要想定を前提条件として、潮流解析を実施して設定したシナリオを検証する必要がある。

ある。UETCL は系統解析ソフトウェアとしてシーメンス製 PSS/E を活用しているが、JICA 調査団も同ソフトウェアを活用し潮流解析を行った。線路定数等の基礎データについては、「送電網開発計画 2014-2030 年」において UETCL が構築した潮流解析モデルをベースとしながらも、表 4-2-1. 1 に示すように、首都圏系統への 220 kV 外輪系統の導入等、首都圏系統全体を俯瞰しつつ、より効果的な首都圏系統の構築を視野に入れているため、潮流解析モデルにはそれを反映する。

まず、系統計画の最適化を行うため 2030 年の需要を前提条件とし、設定した各シナリオに対する系統モデルを構築して潮流解析を行い、最適なシナリオを特定する。次に、2030 年断面の需要に対する最適な系統計画の特定後に、系統計画の目標年次である 2030 年までの途中断面における潮流解析を行い、前述した系統計画に含まれる設備増強、新設のコンポーネントの各断面における有効性を検証する。

なお、潮流解析結果の評価基準等を表 4-2-1. 2 に示す。N-1 基準の採用、事故時の過負荷、電圧の許容範囲の基準については、「送電網開発計画 2014-2030 年」に準拠する方針とする。

表 4-2-1. 1 潮流解析により検証するシナリオ

| 220 kV 外輪系統の形成等 | シナリオ | 内容 |
|---------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 新ムコノ変電所に関するシナリオ (東側系統に関する検討) | 1-1 | ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を「閉」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ。 |
| | 1-2 | ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を「開」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ |
| | 1-3 | ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を「開」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ |
| プロバ変電所に関するシナリオ (南西側系統に関する検討) | 2-1 | 2017 年供用開始予定であるムトゥンドウエーエンテベ間 132 kV 送電線をエンテベハイウェイ開閉所でガバ変電所へ分岐するシナリオ |
| | 2-2 | プロバ変電所からムトゥンドウエ変電所へ 220kV 送電線を引込み、さらにムトゥンドウエ変電所からガバ変電所へ 220kV 送電線を引込むシナリオ |
| | 2-3 | プロバ変電所から、ムトゥンドウエ変電所を経由せず、エンテベハイウェイ開閉所経由でガバ変電所へ 220kV 送電線を引込むシナリオ |

[出所] JICA 調査団

表 4-2-1. 2 潮流解析結果の評価基準等

| | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評価対象範囲 | <ul style="list-style-type: none"> カンバラ首都圏 (系統模擬は、ウガンダ全体) 北側：カワンダ変電所 220 kV 母線 南側：エンテベ変電所 132 kV 母線 東側：ブジャガリ変電所 220 kV 母線 西側：プロバ変電所 220 kV 母線 |
| 電圧 | <ul style="list-style-type: none"> 対象範囲の 132 kV、220 kV 変電所及び送電線 (ただし、変電所 2 次側 33 kV、11 kV を含む) |
| 需要 | <ul style="list-style-type: none"> 計量経済学的手法に基づき想定 (「4-1-4 電力需要想定」参照) 力率 95%^{*1} |
| 主な解析断面 | <ul style="list-style-type: none"> 2015 年 (現状) 2018 年 (中国支援の変電所の完工、220 kV 送電線の運用開始断面) 2020 年 (本事業完工) 2022 年 (本事業のプロジェクト評価年次) 2030 年 (本事業の系統計画の目標年次) |
| 評価内容 | <ul style="list-style-type: none"> 各シナリオ設定に対して以下の評価を実施した 潮流分布 (過負荷の定義、N-1 故障の対象範囲を参照) 電圧分布 (電圧の許容範囲を参照) |

| | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 過負荷率の定義 | 「送電網開発計画 2014-2030」より <ul style="list-style-type: none"> ・ 常時 : 100%以上を過負荷とする ・ 事故時 : 120%以上を過負荷とする |
| N-1 故障の対象範囲 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 送電線 : ウガンダ全体 132 kV 送電線、220 kV 送電線 ・ 変圧器 : ブジャガリ変電所 220 / 132 kV、カワンダ変電所 220 / 132kV、 プロバ変電所 220 / 132kV、ムコノ変電所 220 / 132kV |
| 電圧の許容範囲 | 「送電網開発計画 2014-2030」より <ul style="list-style-type: none"> ・ 220 kV : ±5% ・ 132 kV : ±5% |
| 調相設備 | UETCL が作成した潮流解析モデルデータ (2013 年、2015 年、2018 年、2020 年) で想定されている調相設備を既設とし、運用上必要であれば最低限のキャパシタまたはリアクトルを投入した。 |

注¹ 実績のピーク需要より、平均した力率
 [出所] JICA 調査団

4-2-2 設定したシナリオに対する潮流解析結果

(1) 220 / 132 kV 新ムコノ変電所に係る潮流解析結果 (東側系統に関する検討)

1) ブジャガリーカワンダ 220 kV 送電線の有効活用に係る検討

表 4-2-1.1 に示した 220 / 132 kV 新ムコノ変電所に関して設定したシナリオ 1-1 から 1-3 に対する潮流解析結果を系統構成の概略図と合わせて図 4. 1 から図 4. 3 に示す。

首都圏にはブジャガリ発電所 (ブジャガリ変電所はブジャガリ発電所内に設置されている) 及びイシンバ発電所等、ウガンダ東部に配置される水力発電所からも電力供給される。しかしながら、その電力はブジャガリ発電所の 220 / 132 kV 変圧器 (図 4-2-2. 1 左図のブジャガリ変電所変圧器) のインピーダンスの影響により、ブジャガリ変電所-カワンダ変電所間 220 kV 送電線が運用されているにもかかわらず、首都圏への 132 kV 送電線にも大きな負荷がかかる結果となった。図 4. 1 に示すように、ナルバレ変電所-カンパラ北変電所間 132 kV 送電線に関しては過負荷が生じている。また、N-1 故障時の潮流の検証を行った結果、表 4-2-2.1 に示すように、評価基準である負荷率 120%以下の基準を超過しており、この観点からもシナリオ 1-1 は有効ではないと判断される。

表 4-2-2.1 東側シナリオ 1-1 N-1 故障時における過負荷送電線と過負荷率 (100%以上)

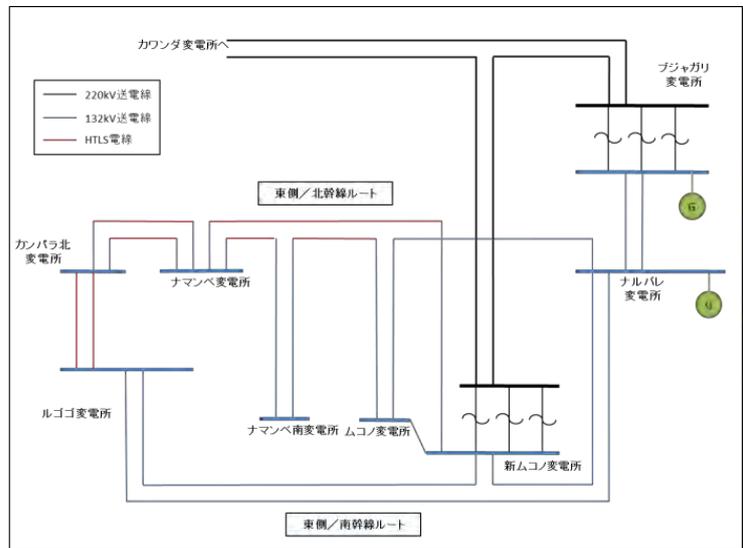
| N-1 故障送電線 | 電圧[kV] | 過負荷送電線 | 負荷率[%] |
|--------------|--------|--------------|--------|
| ナルバレ~ムコノ/南幹線 | 132 | ナルバレ~ムコノ/北幹線 | 126.60 |

[出所] JICA 調査団

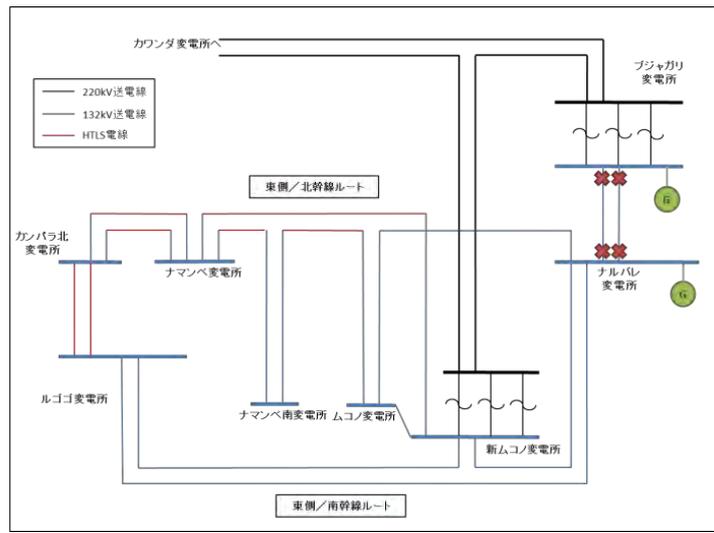
過負荷を解消するため HTLS 電線の採用等により増容量化を行うことが考えられるが、過負荷が生じているナルバレ変電所-ムコノ変電所間 132 kV 送電線は亘長 40 km の水準にある。「4-1-4 首都圏の系統計画策定のためのシナリオ設定」に前述したように、既存の電線を HTLS 電線に張替えることによる増容量化は、新たな用地取得を生じることなく、送電容量の増強を図れるが、小さい断面積の電線で大容量化を図るため送電損失が大きく、亘長が長い区間に採用した場合ほどその影響は顕著である。したがって、ナルバレ変電所-カンパラ北変電所間に HTLS 電線を採用した場合、著しい送電損失が予想され、この区間への HTLS 電線による増容量化は技術面のみならず、経済面からも

妥当でないとは判断される。

ブジャガリ変電所ーカワ ندا変電所間 220 kV 送電線を有効活用する方法として、前述のような 132 kV 送電線に HTLS 電線を採用して送電容量を増強するといった設備対策による方法の他に、系統運用による方法が考えられる。図 4-2-2. 1 左図に示すように、ブジャガリ発電所の発電設備は 132 kV 母線に接続されている。また、同図にはイシンバ発電所の発電設備は示していないが、同発電所も 132 kV 送電線を通じてブジャガリ発電所の 132 kV 母線に接続されており、この母線を介して電力供給がなされる。ブジャガリ発電所及びイシンバ発電所からの電力を 220 kV 送電線するために、図 4-2-2. 1 の下図に示すように、ナルバレ変電所ーブジャガリ変電所間 132 kV 送電線を開運用とするといった系統運用が考えられる。これが表 4-2-1. 1 に示したシナリオ 1-2 である。



シナリオ 1-1

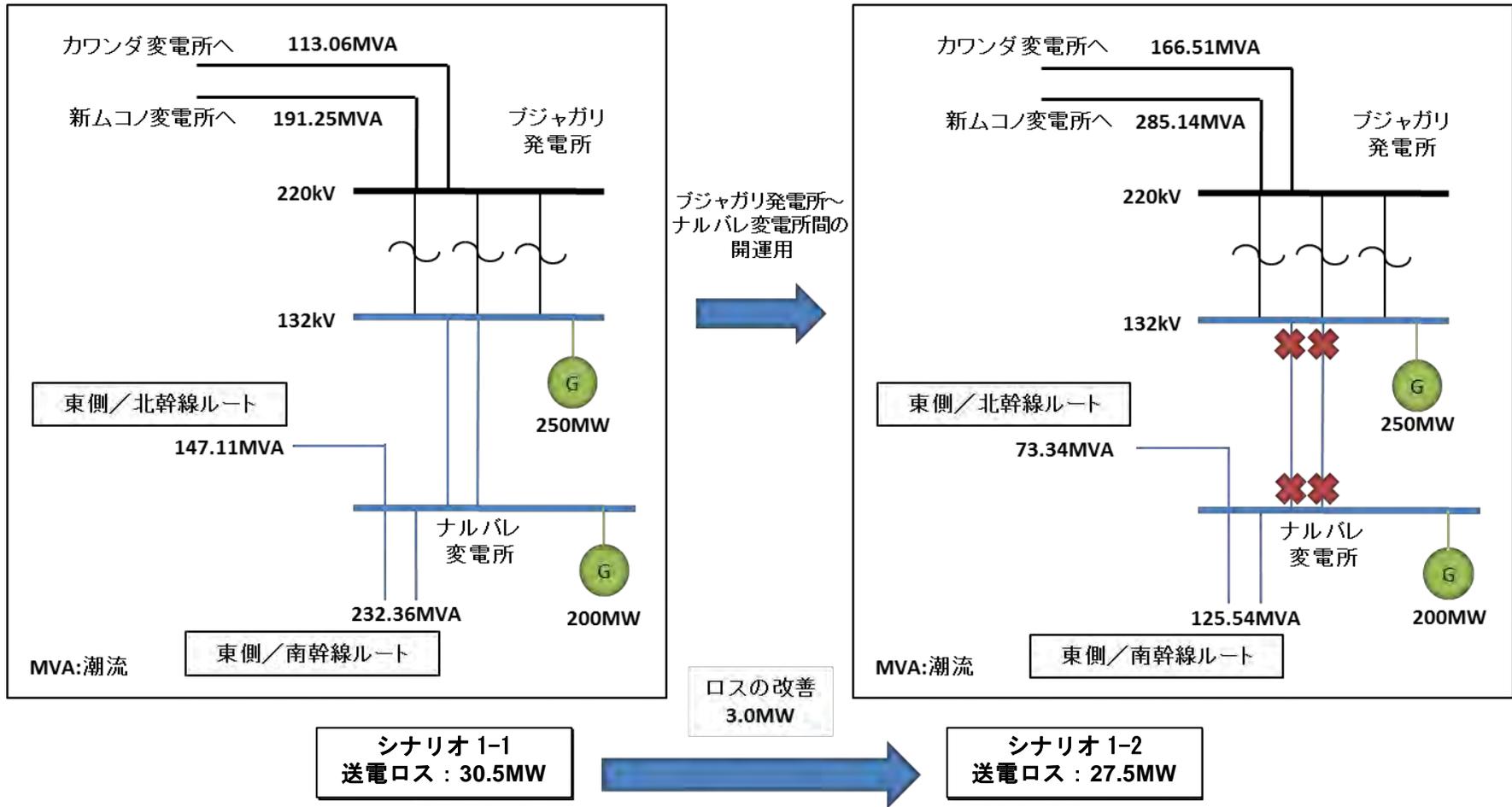


シナリオ 1-2

[出所] JICA 調査団

図 4-2-2.1 シナリオ 1-1 及び 1-2 系統概略図

シナリオ 1-2 に関する潮流解析結果は、前述のように図 4. 2 に示した。同図に示すように、ナルバレ変電所ーブジャガリ変電所間 132 kV 送電線を開運用（シナリオ 1-2）とした場合、閉運用（シナリオ 1-1）とした場合に生じていた、亘長 40 km のナルバレ変電所ーカンパラ北変電所間 132 kV 送電線の過負荷が解消されている。加えて、図 4-2-2. 2 に示すように開運用（シナリオ 1-2）とした場合、閉運用（シナリオ 1-1）とした場合に比べて、ブジャガリ変電所ーカワランダ変電所間 220 kV 送電線上の潮流が合計 150 MVA の水準で増大しており、送電損失の観点からも改善されている。同図にシナリオ 1-1 とシナリオ 1-2 の送電損失の改善状況をあわせて示した（送電損失の算出は、東側はブジャガリ発電所まで、北側はカワランダ変電所まで、西側はカブラソケ変電所までとしている）。同図に示すように、開運用前後の比較において、損電損失が 3.0 MW 程度改善している。潮流解析の結果、ブジャガリ変電所ーカワランダ変電所間 220 kV 送電線を有効活用する観点から、ナルバレ変電所ーブジャガリ変電所間 132 kV 送電線を開運用とすることが妥当なことが確認された。



[備考] 北幹線ルートはナルバレ変電所～カンパラ北変電所間 132 kV 送電線、南幹線ルートはナルバレ変電所～ルゴゴ変電所間 132 kV 送電線を指している。

[出所] JICA 調査団

図 4-2-2.2 ブジャガリ発電所～ナルバレ変電所間の開運用によるロスの改善効果

また、シナリオ 1-2 に関して、N-1 故障想定時における過負荷となる設備を表 4-2-2-2 に示す。同表に示すように、N-1 故障想定時にカワダ変電所の 220 / 132 kV 変圧器は過負荷となるもの、120%を超える水準ではないため、表 4-2-1-2 に示した潮流解析結果の評価基準の観点からは、シナリオ 1-2 は問題ないと判断される。

表 4-2-2.2 東側シナリオ 1-2 N-1 故障時の過負荷送電線と過負荷率(100%以上)

| N-1 故障送電線 または変圧器 | 電圧[kV] | 過負荷送電線 | 過負荷率[%] |
|---------------------|-----------|--------|---------|
| カワダ変圧器 | 220 / 132 | カワダ変圧器 | 104.73 |

[出所] JICA 調査団

2) HTLS 電線の採用区間の最適化

前述したように、既存の電線を HTLS 電線に張替えることによる増容量化は、新たな用地取得を生じることなく、送電容量の増強を図れるが、小さい断面積の電線で大容量化を図るため送電損失が大きいというデメリットがある。したがって、送電網における送電損失を低減するためには、HTLS 電線で増容量する区間をできるだけ低減する必要がある。東側系統で HTLS 電線への張替による増容量化が想定される 132 kV 送電線の一覧を表 4-2-2-3 に示す。シナリオ 1-1 及び 1-2 では表 4-2-2-3 に示すように、東側系統で HTLS 電線への張替による増容量化が想定される 132 kV 送電線に全て HTLS 電線を採用する案であるのに対し、シナリオ 1-3 では、送電損失の最小化の観点から HTLS 電線の採用区間を最適化する案である（同表に示す「増架しない」区間については後述する）。

表 4-2-2.3 東側ルートの子ナリオ案における各区間の線種パターン一覧

| 区間 | シナリオ 1-1 | シナリオ 1-2 | シナリオ 1-3 |
|---------------------|--------------|-------------|-------------|
| ナルバレ変電所～ムコノ変電所 | ACSR125 二導体 | ACSR125 二導体 | ACSR125 二導体 |
| ムコノ変電所～ナマンベ南変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| ナマンベ南変電所～ナマンベ変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| ムコノ変電所～ナマンベ変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | 増架しない |
| ナマンベ変電所～カンバラ北変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| ナマンベ変電所～カンバラ北変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | 増架しない |
| ルゴゴ変電所～カンバラ北変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| ルゴゴ変電所～カンバラ北変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| ムトゥンドゥエ変電所～カワラ変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| カワラ変電所～カンバラ北変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| カンバラ北変電所～ムトゥンドゥエ変電所 | HTLS 電線 | HTLS 電線 | HTLS 電線 |
| ブジャガリ変電所～ナルバレ変電所 | AAAC240 2 回線 | 開運用 | 開運用 |

[出所] JICA 調査団

なお、亘長 41 km の長距離区間であるナルバレームコノ間 132kV 送電線への HTLS 電線の適用は、ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を開運用により回避され、既存の ACSR 125 mm²、1 相 2 条の 1 回線送電で 2030 年断面の需要を満足できることがシナリ

オ 1-2 で確認された。したがって、シナリオ 1-3 においてもこの区間は既存の電線を活用する方針とする。

また、ムコノ変電所～カンパラ北変電所間 132 kV 送電線もナルバレ変電所～ムコノ変電所間と同様に、既存は ACSR 125 mm²、1 相 2 条の 1 回線送電である。シナリオ 1-1 及び 1-2 では、図 4-2-2. 1 に示したように、ムコノ変電所～カンパラ北変電所間 132 kV 送電線に関しては、HTLS 電線で 1 回線増架及び 1 回線張替としていた。しかしながら、この区間の送電線を増架しても、既に仕様が決定し建設実施段階にあるムコノ変電所の仕様は変更できないため、接続する開閉設備がムコノ変電所に存在しない。これを踏まえ、この区間に関しては、HTLS 電線で 1 回線増架を行うことなく、既存の 1 回線を張替するだけで、2030 年断面の需要を想定しても許容することが確認できれば、既存の計画とも整合性が図られた系統計画を策定することができる。したがって、HTLS 電線への張替区間の最適化に関しては、まず、ムコノ変電所～カンパラ北変電所間 132 kV 送電線に関しては、増架することなく既存の ACSR 電線 1 回線のみを HTLS 電線に張替えることを前提条件とする。HTLS 電線への張替区間の最適化の検討を通じて、この区間の増架の必要がなければ、この区間は既存の 1 回線のみを HTLS 電線に張替える方針とする。

HTLS 電線の最適化は、N-1 事故想定時における表 4-2-2. 4 に示した各対象区間の最大潮流が既存の送電線の設備容量を超過した場合、HTLS 電線に張替えて増容量化することが妥当と判断されることを通じて確保する。逆に、N-1 事故想定時における各対象区間の最大潮流が既存の送電線の設備容量を超過しない場合は、HTLS 電線への張替えは不要と判断される。

表 4-2-2. 5 に N-1 事故想定時における各対象区間の最大潮流と既存電線の送電容量を示す。潮流解析を行った結果、前提条件として設定した「ムコノ変電所～カンパラ北変電所間 132 kV 送電線の HTLS 電線による増架をしない」という箇所以外、全て HTLS 電線への張替えが必要であることが確認された。

表 4-2-2. 4 東側シナリオ 1-3 各区間の有効性の高い線種

| 区間 | 距離 [km] | 最大潮流 [MVA] | 既存の送電容量 [MVA] | HTLS 電線化 |
|---------------------|------------|---------------|------------------|----------|
| ナルバレ変電所～ムコノ分岐 | 41.0 | 107.47 | 147 | 不要 |
| ムコノ分岐～ナマンベ南分岐 | 16.36 | 230.69 | 147 | 必要 |
| ナマンベ南分岐～ナマンベ変電所 | 0.14 | 157.25 | 147 | 必要 |
| ムコノ分岐～ナマンベ変電所 | 16.5 | - | - | 増架しない |
| ナマンベ変電所～カンパラ北変電所 | 12.6 | 230.82 | 147 | 必要 |
| ナマンベ変電所～カンパラ北変電所 | 12.6 | - | - | 増架しない |
| ルゴゴ変電所～カンパラ北変電所 1 | 5.7 | 100.14 | 73.2 | 必要 |
| ルゴゴ変電所～カンパラ北変電所 2 | 5.7 | 100.14 | 73.2 | 必要 |
| ムトゥンドウエ変電所～カワラ変電所 | 5.6 | 138.77 | 79.1 | 必要 |
| カワラ変電所～カンパラ北変電所 | 5.4 | 127.88 | 79.1 | 必要 |
| カンパラ北変電所～ムトゥンドウエ変電所 | 10.2 | 107.94 | 79.1 | 必要 |

[出所] JICA 調査団

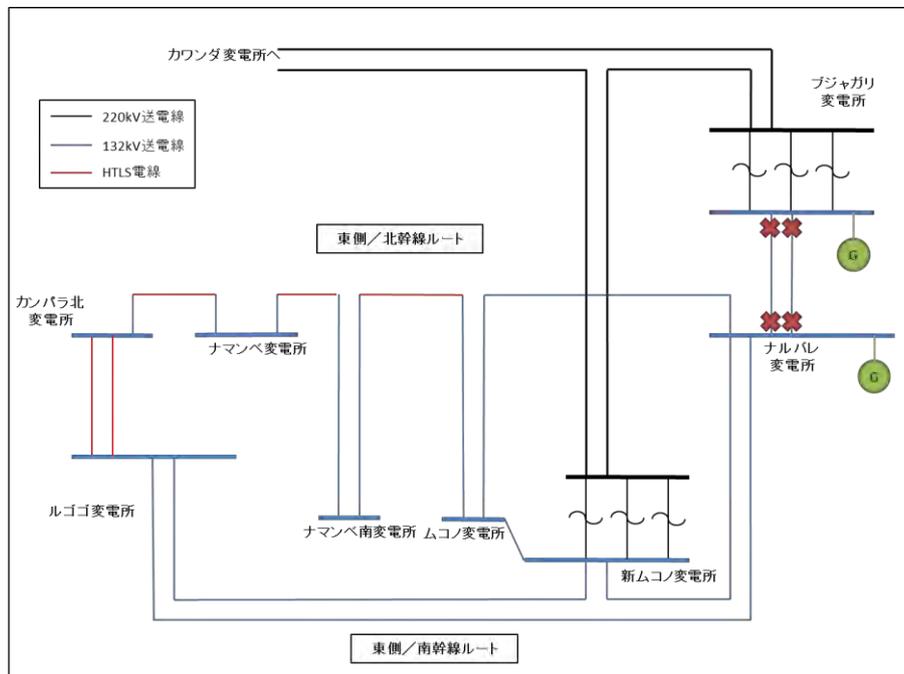
また、HTLS 電線の容量は、鉄塔建替えが回避できるよう、既存の鉄塔設計条件である ACSR 電線、線径 Lynx を想定して HTLS 電線を設計した場合、240 MVA 程度の容量が確

保できる。これを踏まえ、N-1 事故想定時における各対象区間の最大潮流に対する設備の負荷率を表 4-2-2. 5 に示す。最大潮流を想定しても、いずれの区間においても過負荷が生じていないことが確認される。したがって、東側系統については、ムコノ変電所－カンパラ北変電所間 132 kV 送電線に関しては増架することなく、既存の ACSR 電線 1 回線のみを HTLS 電線に張替え、それ以外の区間については HTLS 電線に 2 回線とも張替えるシナリオ 1-3 を前提として系統計画を策定する方針とする。なお、シナリオ 1-3 に関して、表 4-2-2. 4 に示す HTLS 電線の採用する区間は、図 4-2-2. 3 に赤線に示した。

表 4-2-2. 5 東側シナリオ 1-3 N-1 故障時の各区間の最大送電容量 [MVA]

| 区間 | 距離 [km] | 線種 | 送電容量 [MVA] | 最大潮流 [MVA] | 負荷率 [%] |
|---------------------|---------|----------------|------------|------------|---------|
| ナルバレ変電所～ムコノ分岐 | 41.0 | ACSR125 Double | 147 | 107.47 | 73.11 |
| ムコノ分岐～ナマンベ南分岐 | 16.36 | HTLS 電線 | 240 | 230.69 | 96.12 |
| ナマンベ南分岐～ナマンベ変電所 | 0.14 | HTLS 電線 | 240 | 157.25 | 65.52 |
| ムコノ分岐～ナマンベ変電所 | 16.5 | 増架しない | - | - | - |
| ナマンベ変電所～カンパラ北変電所 | 12.6 | HTLS 電線 | 240 | 230.82 | 96.17 |
| ナマンベ変電所～カンパラ北変電所 | 12.6 | 増架しない | - | - | - |
| ルゴゴ変電所～カンパラ北変電所 1 | 5.7 | HTLS 電線 | 240 | 100.14 | 41.72 |
| ルゴゴ変電所～カンパラ北変電所 2 | 5.7 | HTLS 電線 | 240 | 100.14 | 41.72 |
| ムトゥンドゥエ変電所～カワラ変電所 | 5.6 | HTLS 電線 | 240 | 138.77 | 57.82 |
| カワラ変電所～カンパラ北変電所 | 5.4 | HTLS 電線 | 240 | 127.88 | 53.28 |
| カンパラ北変電所～ムトゥンドゥエ変電所 | 10.2 | HTLS 電線 | 240 | 107.94 | 44.98 |

[出所] JICA 調査団



[出所] JICA 調査団

図 4-2-2. 3 シナリオ 1-3 系統概略図

なお、ナルバレ変電所－カンパラ北変電所間 132 kV 送電線から分岐して、中国輸出入銀

行の支援により計画されているムコノ変電所及びナマンベ南変電所までの引込み部分の 132 kV 送電線に関しては、AAAC 電線、線径 405 mm² の複導体が採用されており、送電容量 275 MVA の 2 回線が確保されている。したがって、HTLS への張替えが必要な区間は既存のナルバレ変電所～カンパラ北変電所間 132 kV 送電線部分であり、中国輸出入銀行の支援により計画されているムコノ変電所及びナマンベ南変電所への引込み部分の 132 kV 送電線は HTLS 電線への張替えは必要ない。

シナリオ 1-3 に関して、N-1 事故想定時におけるその他の過負荷設備を表 4-2-2.6 に示す。カワング変電所の 220 / 132 kV の連系変圧器に関して過負荷が確認されたが、120%を超える水準ではないため、表 4-2-1.2 に示した潮流解析結果の評価基準の観点から問題ないと判断される。

表 4-2-2.6 東側シナリオ 1-3 N-1 故障時の過負荷送電線と過負荷率(100%以上)

| N-1 故障送電線 または変圧器 | 電圧[kV] | 過負荷送電線 | 過負荷率[%] |
|---------------------|---------|---------|---------|
| カワング変圧器 | 220/132 | カワング変圧器 | 109.55 |

[出所] JICA 調査団

(2) 220 / 132 kV ブロバ変電所に係る潮流解析結果（南西側系統に関する検討）

表 4-2-1.1 に示した 220 / 132 kV ブロバ変電所に関して設定したシナリオ 2-1 から 2-3 に対する潮流解析結果を系統構成の概略図と合わせて図 4.4 から図 4.6 に示す。なお、潮流解析を行った結果、系統計画の目標年次である 2030 年の首都圏の需要を想定した場合、ブロバ変電所から末端までの電力供給に関しては、シナリオ 2-2、2-3 のような 220 kV 送電線を活用した系統構成としなくても、シナリオ 2-1 の系統構成、すなわち、2017 年供用開始予定であるムトゥンドゥエ変電所～エンテベ変電所間 132 kV 送電線をエンテベハイウェイ開閉所でガバ変電所へ分岐する系統構成で十分許容できることが確認された。この評価にあたっては、表 4-2-1.2 に示す評価基準をもとに検証している。すなわち、N-1 基準、電圧管理範囲、許容負荷等、同表に示す評価基準を全て満足することを前提としても、2030 年の首都圏の需要を想定した場合、シナリオ 2-1 の系統構成で許容できることが確認された。シナリオ 2-1 の系統構成で N-1 故障を想定した場合の過負荷送電線と過負荷率を表 4-2-2.7 に示す。同表に示すように、過負荷率が 120%を超える N-1 故障は見られなかった。

表 4-2-2.7 南西側ルート

ガバ変電所の送電ルート N-1 故障時の過負荷送電線と過負荷率(100%以上)

| N-1 故障送電線 または変圧器 | 電圧[kV] | 過負荷送電線 | 過負荷率[%] |
|-----------------------|---------|-------------|---------|
| カワング変圧器 | 220/132 | カワング変圧器 | 107.91 |
| ムトゥンドゥエ変電所～ ブロバ変電所 | 132 | ムトゥンドゥエ～ブロバ | 106.63 |

[出所] JICA 調査団

このように、系統計画の目標年次である 2030 年を想定した場合、シナリオ 2-1 が妥当であることが確認された。しかしながら、系統計画の対象期間以降の見通しを立てる意味で、

220 kV 送電線を活用することを想定した場合、ムトゥンドゥエ変電所を介することが妥当か否かを検証するため、環境社会配慮面等、事業の実現可能性も考慮しつつ、シナリオ 2-2 と 2-3 を比較する。

潮流解析結果より比較すると、シナリオ 2-2 に関してはムトゥンドゥエ変電所からガバ変電所への 1 回線当たりの送電容量 380 MVA に対し 2030 年でのガバ変電所の需要量は約 80 MVA のみの供給設備となるため十分な設備容量が確保可能となる。おなじくシナリオ 2-3 についてもプロバ変電所からエンテベハイウェイ開閉所を経由したガバ変電所への供給はガバ変電所の需要の供給だけとなる。先に記述した様に将来的に更なる需要増加に伴う 220 kV 送電線化は有効ではあるが 2030 年時点でのシナリオ 2-2 及びシナリオ 2-3 の有効性はどちらも検討しがたい結果である。環境社会配慮の観点から比較すると、シナリオ 2-2 に関しては、220 kV 送電線でプロバ変電所からムトゥンドゥエ変電所へ引込み、さらに、ムトゥンドゥエ変電所からガバ変電所へ引出す案であり、ムトゥンドゥエ変電所が住宅街にあることを考慮すると、新たな送電ルート用地を確保することが困難である。132 kV 送電線が設置されている用地に、それを撤去して 220 kV 送電線を撤去することを想定しても、送電線ルートに沿って必要となるウェイリーブ (Way Leave) が 220 kV 送電線の方が広い (132 kV 送電線は 30 m 幅に対し 220 kV 送電線は 40 m 幅) ため、新たな用地取得が必要となる。

一方、シナリオ 2-3 に関しては、プロバ変電所からムトゥンドゥエ変電所を経由せず、エンテベハイウェイ開閉所経由でガバ変電所へ 220 kV 送電線を引込む案であり、用地取得の観点から負荷がシナリオ 2-2 に対し低い。

(3) 策定された 2030 年を目標年次とした系統計画

前述のように、潮流解析を通じて、ブジャガリ発電所－カワ ندا変電所間の 220kV 送電線、カワ ندا変電所－マサカ変電所間の 220kV 送電線をカンパラ首都圏の 220 kV 外輪線の一部として活用しつつ、将来的には 220 kV 外輪系統を形成することがカンパラ首都圏系統の概況から判断された。これを踏まえ、カンパラ首都圏南西地域へ供給力強化を目的とした、カンパラ首都圏西部地域への 220 / 132 kV プロバ変電所の新設、並びに、カンパラ首都圏東部地域への 220 / 132 kV 新ムコノ変電所の新設を前提として系統計画を策定することを基本方針とした。これを踏まえ、表 4-2-2. 8 に示すシナリオ設定を行い、検討を行った結果、東側系統に関してはシナリオ 1-3 を、南西側系統に関してはシナリオ 2-1 採用をすることが妥当であることが確認された。これらを組合せた系統構成を、2030 年を目標年次とした系統計画とする。

なお、220 / 132 kV プロバ変電所の新設、並びに、220 / 132 kV 新ムコノ変電所に関して、以上の検討においては 220 kV 系統との連系はオープンパイ接続を前提として検討したが、UETCL との協議の結果、供給信頼度を考慮し、ダブルパイ接続とする方針となった。これを考慮して、以下で各年度断面における潮流解析を行う。

表 4-2-2.8 潮流解析による検証により採用されたシナリオ

| 220 kV 外輸系統の形成等 | シナリオ | 内容 | 系統計画への採否 |
|---------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 新ムコノ変電所に関するシナリオ (東側系統に関する検討) | 1-1 | ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を「閉」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ。 | 不採用 |
| | 1-2 | ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を「開」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ | 不採用 |
| | 1-3 | ナルバレーブジャガリ間 132 kV 送電線を「開」運用とし、首都圏で容量不足が懸念される 132 kV 送電線全てに HTLS 電線を採用するシナリオ | 採用 |
| プロバ変電所に関するシナリオ (南西側系統に関する検討) | 2-1 | 2017 年供用開始予定であるムトゥンドウエーエンテベ間 132 kV 送電線をエンテベハイウェイ開閉所でガバ変電所へ分岐するシナリオ | 採用 |
| | 2-2 | プロバ変電所からムトゥンドウエ変電所へ 220kV 送電線を引込み、さらにムトゥンドウエ変電所からエンテベハイウェイ開閉所経由でガバ変電所へ 220kV 送電線を引込むシナリオ | 不採用 |
| | 2-3 | プロバ変電所から、ムトゥンドウエ変電所を経由せず、エンテベハイウェイ開閉所経由でガバ変電所へ 220kV 送電線を引込むシナリオ | 不採用 |

[出所] JICA 調査団

4-2-3 策定した系統計画に対する補足的検討

(1) 220/132kV 系統変圧器の必要台数の検討

本事業は首都圏への 220 kV 外輸系統の導入等、220 / 132 kV 系統変圧器が重要な位置づけであるため、系統計画の結果策定された目標年次の 2030 年の系統構成における 220 / 132 kV 系統変圧器の必要台数を検証した。本事業対象範囲で 220 / 132 kV 系統変圧器が配置されるのは、ブジャガリ変電所、カワランダ変電所、プロバ変電所、新ムコノ変電所である。系統計画で策定された目標年次の 2030 年の系統構成における各変電所の単機容量及び設置台数を表 4-2-3.1 に示す。N-1 基準で検証を行い 120%以上の過負荷が生じた場合、追加的な 220 / 132 kV 系統変圧器の設置が必要と判断する。

対象とする年度断面は、本事業の運用効果指標確認時期となる 2022 年（プロジェクト評価年次）及び送電網開発計画の最終年度となる 2030 年とする。

表 4-2-3.1 目標年次 2030 年の系統構成における
220 / 132 kV 系統変圧器の台数と単機容量

| 変電所 | 容量 [MVA] | バンク数 |
|----------|-------------|------|
| ブジャガリ変電所 | 250 | 2 |
| カワランダ変電所 | 250 | 2 |
| プロバ変電所 | 125 | 2 |
| 新ムコノ変電所 | 125 | 2 |

[出所] JICA 調査団

<2022 年（プロジェクト評価年次）>

2022 年の系統断面の需要に対し、表 4-2-3. 1 に示した変圧器台数で N-1 故障想定
の検証を行ったところ、ブジャガリ変電所の変圧器が 2 台では、125.41%と過負荷になる
ため 3 台の変圧器が必要となることが確認された。ブジャガリ変電所の変圧器を 3 台と
した場合の送電線と変圧器の N-1 故障想定を検証を行った結果を表 4-2-3. 1 に示す。
解析の結果、系統計画の結果策定された目標年次の 2030 年の系統構成において想定してい
た 220 / 132 kV 系統変圧器に、系統計画基準である負荷率 120%を超える変圧器は見られ
なかった。したがって、2022 年断面の需要に対しては、表 4-2-3. 2 に示した変圧器
台数が必要と判断される。

表 4-2-3. 2 2022 年断面 変圧器台数と N-1 故障時の最大過負荷率

| 変電所 | 容量 [MVA] | バンク数 | N-1 故障時 の最大過負荷率[%] |
|----------|-------------|------|-----------------------|
| ブジャガリ変電所 | 250 | 3 | 69.24 |
| カワンド変電所 | 250 | 2 | 65.27 |
| プロバ変電所 | 125 | 2 | 41.48 |
| 新ムコノ変電所 | 125 | 2 | 79.19 |

[出所] JICA 調査団

<2030 年（系統計画の目標年次）>

2030 年の系統断面の需要に対し、表 4-2-3. 2 に示した変圧器台数で N-1 故障想
定の検証を行ったところ、新ムコノ変電所の変圧器が 2 台では、139.16%と過負荷にな
るため 3 台の変圧器が必要となることが確認された。新ムコノ変電所の変圧器を 3 台と
した場合の送電線と変圧器の N-1 故障想定を検証を行った結果を表 4-2-3. 3 に示
す。解析の結果、系統計画の結果策定された目標年次の 2030 年の系統構成において想定
していた 220 / 132 kV 系統変圧器に、系統計画基準である負荷率 120%を超える変圧器は
見られなかった。したがって、2030 年断面の需要に対しては、表 4-2-3. 3 に示し
た変圧器台数が必要と判断される。表 4-2-3. 3 の変圧器台数を系統計画に反映す
る。

表 4-2-3. 3 2030 年断面 変圧器台数と N-1 故障時の最大過負荷率

| 発/変電所 | 容量[MVA] | バンク数 | N-1 故障時 の最大過負荷率[%] |
|----------|---------|------|-----------------------|
| ブジャガリ変電所 | 250 | 3 | 73.83 |
| カワンド変電所 | 250 | 2 | 112.90 |
| プロバ変電所 | 125 | 2 | 83.67 |
| 新ムコノ変電所 | 125 | 3 | 97.41 |

[出所] JICA 調査団

(2) ムトゥンドゥエ変電所の二重母線化の必要性

ムトゥンドゥエ変電所の 132 kV 母線は現状、単母線であり、母線事故が発生した場合には
単母線事故となりムトゥンドゥエ変電所を電源とする周囲の変電所は広範囲に渡り停電
となる。ムトゥンドゥエ変電所は周辺に国際空港等の重要負荷があることに加えて、商業

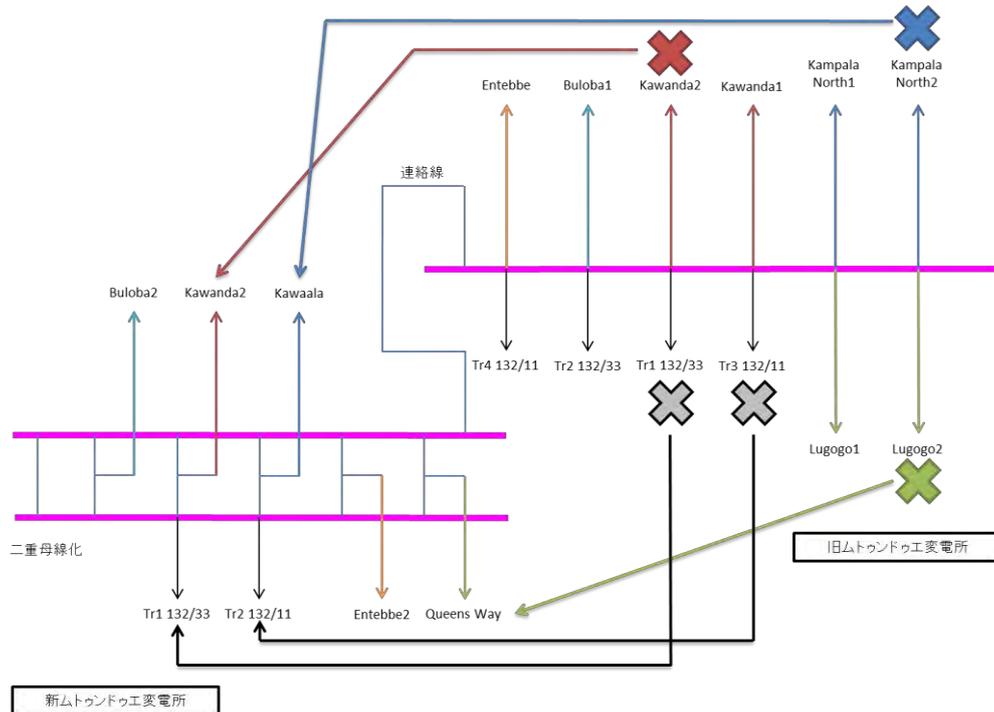
地域として開発が進んでいる現状にあるにも関わらず、首都圏で 132 kV 母線の二重化が行われていない唯一の変電所であり、供給信頼度の観点からこの対応が緊急的な課題である。ムトゥンドゥエ変電所の二重母線化が図られた場合、周辺の供給信頼度は著しく改善するため、その方法について以下で検討を行う。

1) 二重母線化の方法

ムトゥンドゥエ変電所の二重母線化を行うにあたっては、既存の UETCL の計画と整合性を図りつつ母線構成を検討する必要がある。ドイツの支援機関である KfW により、ムトゥンドゥエ変電所の南西側の空用地に既存の 132 kV 母線を拡張する形で、エンテベへの 132 kV 送電線を 2 回線整備する計画が進められている。二重母線化にあたってはこの工事で新設される母線を拡張する形で実現する形となる。この場合、ムトゥンドゥエ変電所には周辺のルゴゴ変電所、カンパラ北変電所、カワ ندا変電所、プロバ変電所、エンテベ変電所の合計 5 箇所から 2 回線ずつ接続され、合計 10 回線の送電線がムトゥンドゥエ変電所に引込まれることになる。なお、ルゴゴ変電所からの 132 kV 送電線 1 回線上にはクイーンズウェイ変電所、カンパラ北変電所からの 132 kV 送電線 1 回線上にはカワラ変電所等が配置されている。これを踏まえ、図 4-2-3. 1 に示すように、周辺の各変電所に、同図の連絡線の左側から 1 回線、右側から 1 回線、132 kV 送電線が引き出されている構成を考える。

図 4-2-3. 1 において、連絡線より右側が既存の 132 kV 母線であり、左側が新設する 132 kV 母線である。同図では、連絡線から見て左側の母線に 5 箇所の変電所へ 132 kV 送電線を 1 回線ずつ接続し、右側の母線にも同様に 5 箇所の変電所に 1 回線ずつ接続している。この母線構成により二重母線化は実現されるが、片側の母線事故時に系統計画の目標年次である 2030 年の需要を賄うことができるかを検証しておく必要がある。

また、図 4-2-3. 1 のように、既存の設備容量 40 MVA の 132 / 33 kV 変圧器 2 台及び設備容量 20 MVA の 132 / 11 kV 変圧器 2 台の内、1 台ずつを拡張する側の母線に接続することを想定する。



[出所] JICA 調査団

図 4-2-3.1 ムトゥンドゥエ変電所の接続概略図

2) 単母線事故による潮流解析

図 4-2-3.1 において、連絡線より右側の既存の母線側での故障を想定し、単母線事故として潮流解析を行った。常時の潮流解析の結果を図 4.7 に、単母線事故時の潮流を図 4.8 に示す。単母線事故時の最大潮流が設備容量で許容できるかを検証した。表 4-2-3.4 に、負荷率 100%以上の送電線を示す。同表に示すように、プロバ変電所-新ムトゥンドゥエ変電所間の 132 kV 送電線が評価基準値である負荷率 120% を超過しており、系統運用による対策、もしくは、設備増強による対策の必要性が確認され、過負荷への対策が必要となる。

表 4-2-3.4 ムトゥンドゥエ変電所の母線事故時の過負荷率 100%以上の送電線

| 対象事故 | 対象送電線 | 電圧 | 過負荷率[%] |
|------------------|-------------------|-----|---------|
| ムトゥンドゥエ変電所の単母線事故 | プロバ変電所-ムトゥンドゥエ変電所 | 132 | 125.29 |

[出所] JICA 調査団

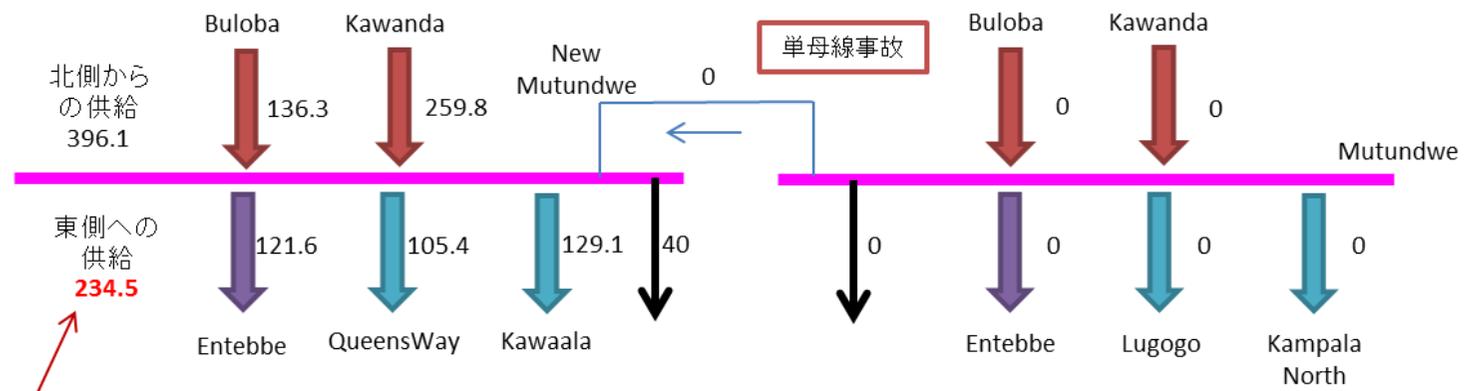
3) 系統運用によるプロバ-ムトゥンドゥエ変電所間 132 kV 送電線の過負荷対策

前述のように、ムトゥンドゥエ変電所には 5 箇所の変電所から送電線が確保されており、その一部が想定している単母線事故時に過負荷となっても、当該箇所を事故時に開運用し、より送電容量が大きな他の経路を介して供給することで過負荷を回避できる可能性がある。これを確認するため、図 4.8 の系統モデルにおいて、プロバ変電所-ムトゥンドゥエ変電所間 132 kV 送電線を開運用とした系統モデルの潮流解析を行った。

潮流解析結果を図 4.9 に示す。この場合の検討対象としているムトゥンドゥエ変電所周辺の潮流状況を図 4-2-3.2 に示す。同図に示すように、開運用前のプロバ-

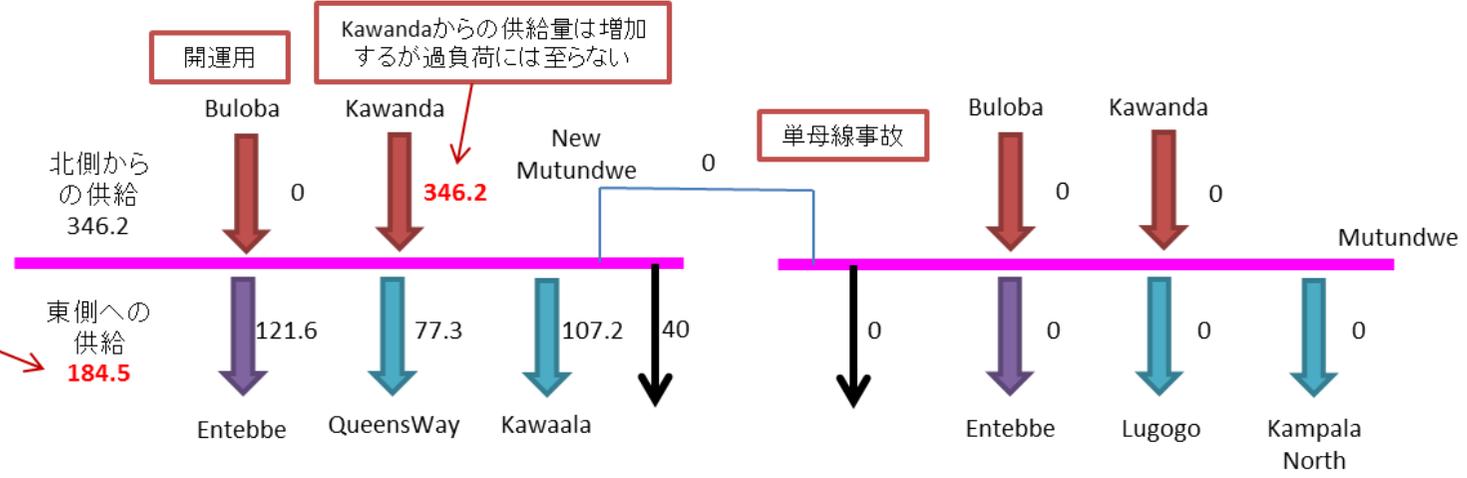
ムトゥンドゥエ変電所間 132 kV 送電線の 135 MW は、開運用した場合、その負荷の全てが、カワンダ変電所—ムトゥンドゥエ変電所間 132 kV 送電線にかかり、潮流は 350 MW 程度に達する。しかしながら、同区間の送電容量 457 MVA でありこれを許容できるため、供給が可能である。また、その際の電圧低下及び過負荷は見られないため、本構成における複母線化に伴う運用は問題ないと検討した。

開運用前



開運用後

東側への供給量は減少するが東側の新ムコノ変電所からの供給量が増加する



[出所] JICA 調査団

図 4-2-3.2 プロバームトゥンドウエ間の開運用前後におけるムトゥンドウエ変電所の潮流量

4) 設備対策によるプロバ変電所ームトゥンドゥエ変電所間 132 kV 送電線の過負荷対策

前述の系統運用による対策で、過負荷を回避できることが確認されたが、この場合、系統操作が必要となる。図 4. 9 のモデルで約 126%の過負荷が確認されたプロバ変電所ームトゥンドゥエ変電所間 132 kV 送電線の区間の送電線に十分な容量の送電線を採用すれば過負荷の根本的な原因は解消される。

ムトゥンドゥエ変電所ーカブラソケ変電所間 132 kV 送電線は送電容量 110 MVA の AAAC 200mm² が現在採用されている。ムトゥンドゥエ変電所における単母線事故時には 1 回線当たり約 140 MVA の送電容量が必要となるため、これ以上の容量の送電線を採用しておけば過負荷は生じない。これを踏まえ、プロバ変電所の建設に関してはムトゥンドゥエ変電所ーカブラソケ変電所間 132 kV 送電線からのパイ引込み点からプロバ変電所までの区間については、送電容量 205 MVA が確保できる AAAC 240mm² の 2 導体を各回線に採用する方針とする。

なお、UETCL がムトゥンドゥエ変電所ーカブラソケ変電所間 132 kV 送電線を将来的に 2 回線化並びに鉄塔化を行う場合は、これと同じ仕様として計画の整合性を確保する必要がある。

4-2-4 年度断面に対する潮流解析結果

前述のように、一般に、先進国の大都市では供給容量と信頼性を兼ね備えた系統の構築を実現するため超高圧の環状系統が形成されている。カンパラ首都圏においても、既存の 132 kV 環状系統の外側に、首都圏を通過する 220 kV 送電線を活用する形で、超高圧である 220 kV の環状系統の形成が必要な段階に達しつつある。220 kV 環状系統を形成するためには、220 kV 送電線から首都圏への電力供給ポイントとなる 220 / 132 kV 変電所を首都圏内に新設することがその必要条件となる。首都圏においては、用地取得に関して自由度が低いことも考慮し、UETCL との協議を通じて、首都圏に配置する 220 / 132 kV 変電所として、220 / 132 kV プロバ変電所と新ムコノ変電所が選定された。それを前提条件としつつ潮流解析を通じて、HTLS 電線への張替区間の最適化等、系統計画を策定した。

年度断面の潮流解析に先立ち、策定した系統計画をもとに、年度断面に展開した送電設備に関する設備計画表を表 4-2-4. 1 に、変電に関する設備計画表を表 4-2-4. 2 に既存の UETCL の計画も含めて示す。これらの設備計画表を踏まえ、各年度断面の潮流解析を実施する。

表 4-2-4.1 設備計画表 送電設備

| 設備計画表 送電設備 | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|-----|-----------------|-------|------------|------------|---------|------|---------|
| 送電線 | 電圧階級 | 回線数 | 線種 | 送電容量 | 年度断面 | | | | |
| | [kV] | | | | [MVA] | 2015 | 2018 | 2020 | 2022 |
| カンバラ首都圏 | | | | | | | | | |
| カンバラ北-1カワラ | 132 | 1 | ACSR183 | 79.1 | ● | - | - | - | - |
| ⇒ カンバラ北-カワラ | 132 | 1 | ACSR183 | 79.1 | | ● | - | - | - |
| ⇒ カンバラ北-カワラ | 132 | 1 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| カワラ-1カワラ-CBムトウドゥエ | 132 | 1 | ACSR183 | 79.1 | ● | - | - | - | - |
| ⇒ カワラ-ムトウドゥエ | 132 | 1 | ACSR183 | 79.1 | | ● | - | - | - |
| ⇒ カワラ-ムトウドゥエ | 132 | 1 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| カンバラ北-ムトウドゥエ | 132 | 1 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| ナルバレー-Tムコノ | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | ● | - | - | - | - |
| ⇒ ナルバレー-ムコノ | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| Tムコノ-Tナマンベ南 | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | ● | - | - | - | - |
| ⇒ ムコノ分岐-ナマンベ南分岐 | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | | ● | - | - | - |
| ⇒ ムコノ分岐-ナマンベ南分岐 | 132 | 1 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| Tナマンベ南-ナマンベ | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | ● | - | - | - | - |
| ⇒ ナマンベ南分岐-ナマンベ | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | | ● | - | - | - |
| ⇒ ナマンベ南分岐-ナマンベ | 132 | 1 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| ナマンベ南分岐-ナマンベ南 | 132 | 2 | AAAC400(Double) | 400 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ナマンベ-カンバラ北 | 132 | 1 | ACSR125 | 147 | ● | ⇒ | - | - | - |
| | 132 | 1 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| ルゴゴ-カンバラ北 | 132 | 2 | ACSR183 | 73.2 | ● | ⇒ | - | - | - |
| ⇒ ルゴゴ-カンバラ北 | 132 | 2 | HTLS | 240 | | | ●[張替] | ⇒ | ⇒ |
| ナマンベ南-ルジラ | 132 | 2 | ACSR125 | 147 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ルゴゴ-ムトウドゥエ | 132 | 2 | ACSR385 | 180 | ● | ⇒ | - | - | - |
| ⇒ ルゴゴ-Tクイーンズウェイ-ムトウドゥエ(オープンバイ引込) | 132 | 1+1 | ACSR385 | 180 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| ナルバレー-ルゴゴ | 132 | 2 | ACSR385 | 180 | ● | ⇒ | - | - | - |
| ⇒ ナルバレー-ムコノ-ルゴゴ(オープンバイ引込み) | 132 | 1+1 | ACSR385 | 180 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| ムトウドゥエ-カワンダ | 132 | 2 | AAAC240(Quad) | 457 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ブジャガリ-カワンダ | 220 | 2 | AAAC240(Double) | 205.8 | ●[132kV運用] | - | - | - | - |
| | 220 | 2 | AAAC240(Double) | 381 | | ●[220kV運用] | - | - | - |
| ⇒ ブジャガリ-新ムコノ-カワンダ(ダブルバイ引込) | 220 | 2 | AAAC240(Double) | 381 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| カワンダ-マサカ西 | 220 | 2 | AAAC240(Double) | 381 | | ● | - | - | - |
| ⇒ カワンダ-プロバ-マサカ西(ダブルバイ引込) | 220 | 2 | AAAC240(Double) | 381 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| プロバ-カブランケ | 220 | 2 | AAAC240(Double) | 381 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| ナルバレー-ブジャガリ | 132 | 2 | AAAC240(Twin) | 205.8 | ● | ⇒ | 開運用 | 開運用 | 開運用 |
| ブジャガリ-トロロ | 132 | 2 | ACSR185 | 82 | ● | - | - | - | - |
| ⇒ ブジャガリ-イガンガ-トロロ(オープンバイ引込) | 132 | 1+1 | ACSR185 | 82 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| エンデベ-ムトウドゥエ | 132 | 2 | AAAC240 | 110 | | ● | - | - | - |
| ⇒ エンデベ-エンデベHW-ムトウドゥエ | 132 | 2 | AAAC240 | 110 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| ガバ-エンデベHW | 132 | 2 | AAAC240(Twin) | 205.8 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| ムトウドゥエ-カブランケ | 132 | 1 | AAAC240 | 110 | ● | ⇒ | - | - | - |
| ⇒ ムトウドゥエ-プロバ-カブランケ(バイ引込) | 132 | 1→2 | AAAC240 | 110 | | | ●[1cct] | ⇒ | ●[2cct] |

[備考] ●:設備あり, ⇒:設備あり/前年度断面より変更なし, -:設備なし/対象設備の下段の設備に変更, 空白:設備なし

ブルーハッチング: 本事業コンポーネント

[出所] JICA 調査団

表 4-2-4.2 設備計画表 変電設備

| 設備計画表 変電設備 | | | | | | | | |
|------------|--------------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 変電所 | 電圧階級 [kV] | 容量 [MVA] | バンク数 | 年度断面 | | | | |
| | | | | 2015 | 2018 | 2020 | 2022 | 2030 |
| カンバラ首都圏 | | | | | | | | |
| ブジャガリ | 220/132 | 250 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ブジャガリ | 220/132 | 250 | 1 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| カワンダ | 220/132 | 250 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| プロバ | 220/132 | 125 | 2 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| | 132/33 | 40 | 2 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| 新ムコノ | 220/132 | 125 | 3 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| ルゴゴ | 132/11 | 40 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| | 132/33 | 40 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ムトウドゥエ | 132/11 | 20 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| | 132/33 | 40 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ナマンベ | 132/33 | 40 | 3 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| カンバラ北 | 132/11 | 40 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| | 132/33 | 40 | 2 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| カワラ | 132/11 | 15 | 1 | ● | ⇒ | - | - | - |
| カワラ | 132/11 | 20 | 1 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| | 132/33 | 40 | 3 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| カワンダ | 132/33 | 40 | 1 | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| | 132/33 | 40 | 1 | | | ● | ⇒ | ⇒ |
| クイーンズウェイ | 132/33 | 40 | 3 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ルジラ | 132/33 | 40 | 2 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ナマンベ南 | 132/33 | 63 | 3 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ムコノ | 132/33 | 63 | 3 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| エンテベ | 132/33 | 80 | 2 | | ● | ⇒ | ⇒ | ⇒ |
| ガバ | 132/33 | 60 | 2 | | | ● | ⇒ | ⇒ |

[備考] ●:設備あり, ⇒:設備あり/前年度断面より変更なし, -:設備なし/対象設備の下段の設備に変更,
空白:設備なし

ブルーハッチング:本事業コンポーネント

[出所] JICA 調査団

<2015年> 現状断面 (図4.10)

2015年断面に関しては、逼迫した電力事情であるものの、輸出量がまだ低い水準にあるため、現状の系統構成で供給可能である。しかしながら、計量経済学的手法により想定された6%/年から7%/年程度の需要増大を踏まえると、系統計画の目標年次である2030年には、母線電圧及び送電線が適正範囲を超え、以下に示すように本事業が首都圏の電力供給において不可欠である。

[調相設備]

ナマンベ変電所 33kV : 48 MVar

ルゴゴ変電所 33kV : 10 MVar

[N-0における解析結果]

① 母線電圧

カブラソケ変電所 (0.9365 p.u.)、マサカ変電所 (0.9305 p.u.) と電圧低下が見られる。

(送電線の結果に示すように、タンザニアの輸出量を絞った運用をした場合、カブラソケ変電所-マサカ変電所間の送電線は過負荷に至らず、電圧も適正範囲内となる)

② 送電線

カブラソケ変電所-マサカ変電所間に過負荷が確認された。

(マサカ変電所経由でのタンザニアへの輸出量を16MWから8MWに絞った運用をした場合、当該送電線の過負荷の回避が可能である。この際の当該送電線の負荷率は90%)

となる。)

③ 変圧器

過負荷は見られない。

<2018年> 中国支援の変電所の完工、220 kV 送電線の運用開始断面 (図4. 1 1)

2018年は、中国輸出入銀行支援の変電所の完工により、ナルバレ変電所からカンパラ北変電所の132 kV送電線上にナマンベ南変電所(その2次側にルジラ変電所)、ムコノ変電所等が連系され、当該区間の潮流量が増加する断面である。常時及びN-1故障時に過負荷となっている送電線は見られないが、この系統構成では数年単位の将来需要において、N-1故障時に過負荷となる送電線が想定される。そのため当該区間の既存のACSR 125 mm²の2導体(送電容量147 MVA)から本事業で計画しているHTLS電線に張替ることが不可欠である。

また、カンパラ北変電所からムトゥンドゥエ変電所においては、既設の送電容量が80 MVA相当のため、同じく将来的な需要増加、また、N-1故障想定に耐えられないため、HTLS電線への張替が必要である。

[調相設備]

カンパラ北変電所 132kV : 40 MVar

ナマンベ変電所 132kV : 40 MVar

ルゴゴ変電所 132kV : 40 MVar

[N-0における解析結果]

① 母線電圧

適正範囲内である。

② 送電線

過負荷は見られない。

③ 変圧器

過負荷は見られない。

<2020年> 本事業完工 (図4. 1 2)

本事業は2020年の完工を想定しているため、本事業の設備はこの断面から供用を開始することとなる。従って、この断面以降については、本事業を実施した場合の系統構成と実施しない場合の系統構成をモデル化し、潮流解析を行った。

2018年の断面で述べたように、中国輸出入銀行支援の変電所の完工により、ナルバレ変電所からカンパラ北変電所の132 kV送電線上にナマンベ南変電所(その2次側にルジラ変電所)、ムコノ変電所等が連系され、当該区間の潮流量が増加していることに加え、その他の各変電所の電力需要も増大している。

本事業で、220/132 kV新ムコノ変電所の新設、ムコノ変電所からカンパラ北変電所及びカンパラ北変電所からムトゥンドゥエ変電所までの送電線をHTLS電線化することで、実施しない場合には適正範囲から逸脱する母線電圧及び送電線の負荷率が、適正範囲に維持されることが確認された。

なお、N-1故障に関しては、当該区間の過負荷は見られない。これは、系統計画の目標

年次を 2030 年とし、同年の需要を基準として設備計画を行っているため、2020 年においては需要に対し設備容量がまだ余裕があるためである。また、ブジャガリ変電所とナルバレ変電所間の 132 kV 送電線を開運用することで、132 kV 系統に流れてしまう潮流を送電損失の少ない 220 kV 系統に流すことが可能となるため、エネルギー利用の合理化を図ることができるが、これには本事業の 220 / 132 kV 新ムコノ変電所が不可欠である。加えて、本事業の 220 / 132 kV ブロバ変電所の完工により、ブロバ変電所からの配電系負荷への供給が可能となっている。

[策定された系統構成の要点]

① 南西側ルート

ガバ変電所への送電線ルート：

ムトゥンドゥエ変電所－エンテベハイウェイ開閉所－ガバ変電所 132kV 送電線
ブロバ変電所からの 220 kV 送電線の引込：なし

② 東側ルート

132kV 送電線の区間（ナルバレ変電所－カンパラ北変電所）：

図 4－2－2. 3 に示した最適構成（東側シナリオ 1-3）

[調相設備]

開放する。

[N-0 における解析結果]

① 母線電圧

適正範囲内である。

② 送電線

過負荷は見られない。

③ 変圧器

過負荷は見られない。

<2022 年> 本事業のプロジェクト評価年次（図 4. 1 3）

2020 年と同様に、本事業で、新ムコノ変電所の新設、ムコノ変電所からカンパラ北変電所及びカンパラ北変電所からムトゥンドゥエ変電所までの送電線を HTLS 電線化することで、実施しない場合には適正範囲から逸脱する母線電圧及び送電線の負荷率が、適正範囲に維持されることが確認された。

なお、本事業を実施した場合、N-1 故障に関しては、当該区間の過負荷は見られない。これは、系統計画の目標年次を 2030 年とし、同年の需要を基準として設備計画を行っているため、2022 年においては需要に対し設備容量がまだ余裕があるためである。また、ブジャガリ変電所とナルバレ変電所間の 132 kV 送電線を運用することで、132 kV 系統に流れてしまう潮流を送電損失の少ない 220 kV 系統に流すことが可能となるため、エネルギー利用の合理化を図ることができるが、これには本事業の新ムコノ変電所が不可欠である。加えて、本事業のブロバ変電所の完工により、ブロバ変電所からの配電系負荷への供給が可能となっている。

なお、この断面に関しては、本事業を実施しない場合の系統構成では、送電容量が N-1 故障想定において送電容量が不足する結果となった。したがって、本事業は 2022 年より

以前に完工しておく必要があり、その観点から、2020年に本事業設備が運転開始することとは妥当と判断される。

[策定された系統構成の要点]

① 南西側ルート

ガバ変電所への送電線ルート：

ムトゥンドゥエ変電所－エンテベハイウェイ開閉所－ガバ変電所 132kV 送電線
プロバ変電所からの 220 kV 送電線の引込：なし

② 東側ルート

132kV 送電線の区間（ナルバレ変電所－カンパラ北変電所）：

図 4－2－2. 3 に示した最適構成（東側シナリオ 1-3）

[調相設備]

開放する。

[N-0 における解析結果]

① 母線電圧

適正範囲内である。

② 送電線

過負荷は見られない。

③ 変圧器

過負荷は見られない。

<2030 年> 本事業の系統断面の目標年次（図 4. 1 4）

2030 年を系統計画の目標年次として策定しているため、常時（N-0）及び N-1 故障想定の際のいずれの条件においても、母線電圧、送電線、変圧器は適正範囲に維持されていることが再確認された。220 / 132 kV 変圧器に関しても、2030 年断面を想定し、新ムコノ変電所、ブジャガリ変電所の変圧器の最適台数を計画しているため、過負荷に至ることなく運用可能となっている。仮に、本事業を実施しない場合、2030 年断面においては、常時（N-0）想定では母線電圧、送電線の負荷率が管理範囲を逸脱する結果となることが確認され、N-1 故障想定では母線電圧、送電線の負荷率、変電設備の負荷率ともに管理範囲を逸脱する結果となり、電力供給に大きな支障をきたすことが確認された。

[策定された系統構成の要点]

① 南西側ルート

ガバ変電所への送電線ルート：

ムトゥンドゥエ変電所－エンテベハイウェイ開閉所－ガバ変電所 132kV 送電線
プロバ変電所からの 220kV 送電線の引込：なし

② 東側ルート

132kV 送電線の区間<ナルバレ変電所－カンパラ北変電所>

：図 4－2－2. 3 に示した最適構成（東側シナリオ 1-3）

[調相設備]

| | |
|----------------|-----------|
| カンパラ北変電所 132kV | : 80 MVar |
| カンパラ北変電所 33kV | : 10 MVar |
| ナマンベ変電所 132kV | : 40 MVar |
| ナマンベ変電所 33kV | : 48 MVar |
| ルゴゴ変電所 132kV | : 60 MVar |
| ルゴゴ変電所 33kV | : 10 MVar |
| ナマンベ南変電所 33kV | : 30 MVar |

[N-0 における解析結果]

- ① 母線電圧
適正範囲内である。
- ② 送電線
過負荷は見られない。
- ③ 変圧器
過負荷は見られない。

以上の各断面における潮流解析結果をまとめると、表4-2-4. 3のように要約される。同表の左から3列目に「本事業コンポーネント」という列に「なし」と示す行が本事業を実施しない場合の系統構成を想定しており、「あり」と記載している行が本事業を実施している場合の系統構成を想定している。本事業は2020年の実施を前提としているので、2015年及び2018年は、本事業を実施した場合の系統構成は想定していない。

表4-2-4. 3に示すように、本事業を実施しない場合、前述のように本事業のプロジェクト評価年次となる2022年のN-1故障想定において過負荷となっている送電線が見られ、系統運用に支障をきたしており、本事業はそれ以前に実施する必要があることが確認され、本事業コンポーネントが2020年前後には完工している必要があることが確認される。同表に示すように、ナルバレ変電所-ナマンベ変電所間132kV送電線事故時に、本事業でHTLS化を計画しているカンパラ北変電所-ルゴゴ変電所間132kV送電線に過負荷が生じている。

また、本事業の目標年次となる2030年においては、本事業を実施しない場合、表4-2-4. 3に示すように、常時(N-0)においても負荷率180%の水準で、本事業でHTLS化を想定しているカワラ変電所-ムトゥンドゥエ変電所間、ナルバレ変電所-ムコノ変電所間、カンパラ北変電所-ルゴゴ変電所間の132kV送電線に、許容できない水準の過負荷が確認された。加えて、N-1事故想定においては、母線電圧、送電線の負荷率、変電設備の負荷率、いずれにおいても管理範囲を逸脱する結果となっている。

以上より、系統計画で導いたように、計画の目標年次である2030年の需要を想定した場合、本事業のコンポーネントがカンパラ首都圏の電力供給において不可欠であることが確認された。

表 4-2-4.3 各年度断面の潮流解析結果 一覧

| 年度 | 断面 | 本事業 コンポー ネント | 故障 | 母線電圧 | 送電線 | 変圧器 | 状況 |
|-------|---------------------------------------|--------------------|-----|------|-----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2015年 | 現状断面 | なし | N-0 | × | × | ○ | タンザニアへの輸出量の調整により、適正範囲での運用は可能である |
| | | | N-1 | × | × | ○ | N-故障時に過負荷送電線が見られる <故障送電線 ⇒ 過負荷送電線:過負荷率> ・ナルバレ-ナマンベ間の N-1 故障時 ⇒ カンパラ北-ルゴゴ間: 123[%] |
| 2018年 | 中国輸出入銀行支援の変電所の完工, 220kV 送電線の運用開始断面 | なし | N-0 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | | N-1 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| 2020年 | 本事業完工 | あり | N-0 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | | N-1 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | なし | N-0 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | | N-1 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| 2022年 | 本事業のプロジェクト評価年次 | あり | N-0 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | | N-1 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | なし | N-0 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | | N-1 | ○ | × | ○ | N-1 故障時に過負荷送電線が見られる <故障送電線 ⇒ 過負荷送電線:過負荷率> ・ナルバレ変電所-ムコノ変電所間の N-1 故障時 ⇒ カンパラ北変電所-ルゴゴ変電所間:125[%] ・ナルバレ変電所-ムコノ変電所間の N-1 故障時 ⇒ カワラ変電所-ムトゥンドゥエ変電所間:121[%] |
| 2030年 | 本事業の系統断面の目標年次 | あり | N-0 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | | N-1 | ○ | ○ | ○ | 適正範囲での運用が可能である |
| | | なし | N-0 | × | × | ○ | 常時での過負荷送電線が見られる <過負荷送電線:過負荷率> ・カワラ変電所-ムトゥンドゥエ変電所:177[%] ・ナルバレ変電所-ムコノ変電所:169[%] ・カンパラ北変電所-ルゴゴ変電所:137[%] |
| | | | N-1 | × | × | × | 多数の過負荷送電線が見られる |

[備考] 本事業コンポーネントなし時は、ブジャガリ変電所-ナルバレ変電所間の開運用も閉運用とした

[出所] JICA 調査団

4-3 結論及び提言

4-3-1 結論

前述のように、計画対象地が電力の大消費地である首都圏であることも踏まえ、本事業のコンポーネントの選定に先立ち、既存の「送電網開発計画 2014-2030」の課題を検証しつつ、将来的な首都圏系統における環状系統の形成等、首都圏系統全体を俯瞰しながら、計量経済学的手法による中長期的な電力需要想定に基づき系統計画を策定した。各年度断面における潮流解析結果を検証することで、表 4-3-1.1 に示すコンポーネントが本事業（案）として特定された。

一般的に、電力需要が増大した都市部の送電系統に関しては、十分な供給容量と供給信頼度を兼ね備えた系統を構築するため、超高圧の環状系統を構成することが有効な手段である。ウガンダの送電網に目を向けると、220 kV 送電線の導入段階にあり、カンパラ首都圏を通過する形で整備が進められており、間もなく運用が開始される見通しである。したがって、想定される 6%/年 から 7%/年 程度の急激な首都圏の需要増大傾向を踏まえると、カンパラ首都圏の送電網における中長期的（10 年から 15 年程度）観点からの最も重要な課題は、首都圏を通過する 220 kV 送電線を同地域への電力供給に有効活用することである。その第一歩としては、首都圏を通過するブジャガリ変電所-カワングダ変電所間、及び、カワングダ変電所-マサカ変電所間の 220 kV 送電線上に 220 / 132 kV 変電所を整備し、220 kV 系統からカンパラ首都圏への電力供給ポイントを確保することである。カンパラ首都圏においては新たな用地取得は困難であり、その用地選定に関しては自由度が高くないため、UETCL と協議した結果、表 4-3-1.1 の 1. 及び 2. に示すようにプロバ変電所と新ムコノ変電所が選定された。

また、上記の変電所の整備と合わせ、既存の 132 kV 送電系統の容量も根本的に不足する見通しであるため、132 kV 送電線の増容量化が不可欠である。送電線に関しても首都圏で新たな用地取得は困難なため、既存の送電鉄塔を活用しつつ、高熱容量低弛度電線（HTLS 電線）による既存電線の張替えによる増容量化が有効な手段である。前述のようにシナリオ設定を行い、この採用区間を最適化した結果を表 4-3-1.1 の 8. に「張替」区間として示した。

その他、表 4-3-1.1 の 4. に示すように、220 kV 送電線の有効活用の観点から必要性が潮流解析を通じて明らかとなったブジャガリ変電所への 220 / 132 kV 連系変圧器の増設を事業コンポーネントの一つとして選定している。また、供給信頼度の観点から早急に対応が必要なムトゥンドゥエ変電所の二重母線化についても、潮流解析を通じて母線構成を検討し、事業コンポーネントとして同表の 5. に示している。加えて、特に需要の増大が顕著なカンパラ北変電所周辺の供給力増大のため、変電所単位の需要想定に応じたカワラ変電所の増強計画を、同表の 3. に示すように、コンポーネントとして含めた。

なお、首都圏等における変電所事故時の緊急供給設備のニーズが急激に高まってきていることから、表 4-3-1.1 の 6. に本事業コンポーネントとして、移動式変電設備を含めている。

表 4-3-1.1 本事業コンポーネント (案)

| 主なコンポーネント | | 仕様・数量 | 内容 |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 変電設備 | 1. プロバ変電所 (1) 220 / 132 kV 変圧器 (2) 132 / 33 kV 変圧器 (3) 220 kV 開閉装置 (4) 132 kV 開閉装置 (5) 33 kV 開閉装置 (6) 制御棟 | 125 MVA×2 台 40 MVA×2 台 1 式 1 式 1 式 1 棟 | 新設 |
| | 2. 新ムコノ変電所 (1) 220 / 132 / 33 kV 変圧器 (2) 220 kV ガス絶縁開閉装置 (3) 132 kV ガス絶縁開閉装置 (4) 制御棟 (5) 132 kV 送電線 (新ムコノ変電所-ムコノ変電所) | 125 MVA×3 台 1 式 1 式 1 棟 約 0.3 km×2 回線 | 新設 |
| | 3. カワラ変電所 (1) 132 / 33 kV 変圧器 (2) 132 / 11 kV 変圧器 (3) 132 kV ガス絶縁開閉装置 (変圧器直結型) (4) 33 kV 開閉設備 (5) 11 kV 開閉設備 (6) 制御棟 | 40 MVA×3 台 20 MVA×1 台 1 式 1 式 1 式 1 棟 | 改修 |
| | 4. ブジャガリ変電所 (1) 220 / 132 / 33 kV 変圧器 (2) 220 kV 開閉設備 (3) 132 kV 開閉設備 | 250 MVA×1 台 1 式 1 式 | 増設 |
| | 5. ムトウンドウエ変電所 (1) 132 kV 開閉設備 | 1 式 | 増設 |
| | 6. 移動変電所 (132 / 33 - 11 kV) | 20 MVA×2 台 | 調達 |
| 送電設備 | 7. 220 kV 送電線 (1) プロバ分岐点-プロバ変電所 (2) 新ムコノ分岐点-新ムコノ変電所 (77 番-78 番鉄塔間 132 kV 送電線改造含む) | 約 0.9 km×4 回線 約 4.2 km×4 回線 | 新設 新設 |
| | 8. 132 kV 送電線 (1) プロバ分岐点-プロバ変電所 (2) 新ムコノ変電所-新ムコノ分岐点 (南幹線) (3) ムコノ分岐点 (北幹線) -カンバラ北変電所 (4) カンバラ北変電所-ムトウンドウエ変電所 (5) カンバラ北変電所-ルゴゴ変電所 (6) カワラ分岐点-カワラ変電所 | 約 0.8 km×2 回線 約 0.4km×2 回線 約 25.4 km×1 回線 約 10.2 km×2 回線 約 5.3 km×2 回線 約 0.1 km×2 回線 | 新設 新設 張替 張替 張替 ケーブル化 |

[出所] JICA 調査団

4-3-2 提言

本事業の実施にあたり、4-1 や 4-2 における検討に付随して明らかとなった留意すべき事項等を以下に提言としてまとめた。

(1) ブジャガリ変電所～ナルバレ変電所間の送電線の送電容量の増強と運用方法

ブジャガリ変電所～ナルバレ変電所間の送電線は、UETCL の送電線開発計画でも言及されているとおり 2018 年のイシンバ発電所の運転開始とカンバラ首都圏の需要増により過負荷となることが予想されるため、同線の送電容量の増強を実施することが必要である。

なお、本系統計画のコンポーネントである新ムコノ変電所が 2020 年頃に運用開始した後は、カンバラ首都圏への供給源が同変電所となることから、ブジャガリ変電所～ナルバレ変電所間の送電線の必要性が低くなるとともに、220 kV 送電を活用し常時の送電損失を低減するため、同線を常時「切」運用とし、事故時や作業時にカンバラ首都圏への電力安定供給に支障がある場合にのみ同線を利用することを UETCL に推奨する。

(2) ブロバ変電所から引き出される 132kV 送電線用鉄塔の仕様

前述したとおり、ブロバ変電所からムトゥンドゥエ変電所への 220 kV 送電線の引込みの妥当性は無いため、同鉄塔の 220 kV 設計は不要であることが判明した。

一方で、ムトゥンドゥエ変電所～ブロバ変電所間の 132 kV 送電線は、既存のムトゥンドゥエ変電所～カブラソケ変電所間 132 kV 送電線の木柱の鉄塔化工事に関する社会影響の回避策が確立された段階で、将来の需要増にあわせて 2 回線化される計画である。したがって、本事業の対象コンポーネントであるブロバ変電所と既存のムトゥンドゥエ変電所～カブラソケ変電所間 132 kV 送電線上のブロバ変電所分岐間の鉄塔については、ムトゥンドゥエ変電所向け 132 kV 2 回線及びカブラソケ変電所向け 132 kV 1 回線併架の仕様とする。

(3) ムトゥンドゥエ変電所～ブロバ変電所分岐間及びブロバ分岐～カブラソケ変電所間の送電線増強

ブロバ変電所分岐からムトゥンドゥエ変電所及びカブラソケ変電所向けの 132 kV 送電線は、木柱を支持物とする 1 回線送電線であるため、近い将来、需要増または木柱の経年劣化に伴い建て替えが必要になると考えられる。この木柱の建て替えについては、本事業のコンポーネントには含まれないが、本事業で用いたデータを用いて建て替え時期や 2 回線化の要否も含め独自に検討することを UETCL に推奨する。

(4) ガバ変電所への 132 kV 導入

本事業のコンポーネントには含まれないが、4-1-6(2)1)で記載したとおりガバ変電所へはエンテベハイウェイ開閉所を介して 132 kV を導入すべきである。

(5) ガバ変電所への 220 kV 導入

前述のとおり、2030 年までにはガバ変電所への 220 kV 導入は必要ないものと考えられる。ガバ変電所及びそれに関連する送電線については社会影響の大きさを考慮し、本事業には含まれないが、社会影響の緩和策が確立できた段階で、以上に示したデータを活用し、2030 年以降のガバ変電所への 220 kV 導入について検討することを UETCL に推奨する。

(6) 220/132kV 新ムコノ変電所運用開始後のナルバレ変電所～ルゴゴ変電所 132kV 送電線の潮流抑制の解除

ナルバレ変電所～ルゴゴ変電所 132 kV 送電線については、比較的容量が大きい送電線 (ACSR 385 mm²、容量 180 MVA / 回線) ではあるが、亘長が 70 km 程度あり電圧降下が大きくなることから、負荷端であるルゴゴ変電所の電圧維持のため、UETCL では同線の最大潮流を 100 MVA / 回線程度に抑制して運用している (超過時は、過負荷リレーにより同線が遮断される)。

しかし、220 / 132kV 新ムコノ変電所運用開始後は、同線の間地点に電圧源となる 132

kV 送電線が接続されることから、同線の電圧低下問題が解消されることが期待されるため、本事業で用いたデータを用いて潮流抑制の解除を検討することを UETCL に推奨する。

(7) エンテベハイウェイ地点での分岐方法

ガバ変電所方面への 132kV 送電線分岐地点であるエンテベハイウェイ地点での分岐方法としては、オープンパイ分岐、T 分岐及び開閉所等が考えられるが、本レポートにおいては一貫して 132 kV 開閉所として検討してきた。

これは、分岐地点からエンテベ変電所までの距離が約 30km と比較的長距離であるため、コスト等を考慮せず電力系統の信頼性や運用性（事故・作業区間の最小化や送電線事故時のエンテベ変電所の電圧低下回避）を第一に考えたためであり、基本的には N-1 基準や電圧低下の問題がなければ、分岐方法はどれでも構わない。

本分岐については、本事業のコンポーネントではないため、JICA 調査団は、コストや将来計画等を総合判断して、分岐の形態を決定することを UETCL に推奨する。

なお、検討の際のポイントは次のとおりである。

- ▶ エンテベハイウェイ地点での開閉所用地確保の実現可能性
用地が確保できなければ、開閉所という候補は無くなる。
- ▶ カンパラ首都圏南西部（エンテベハイウェイ地点付近）への供給方法
エンテベハイウェイ地点付近での電力供給が必要と判断されれば、変電所とする必要がある。この場合、ガバ変電所への 220 kV 導入は当面延期されるものと考えられる。
- ▶ 系統の信頼性や運用性
エンテベハイウェイ地点に開閉器を設けない場合は、送電線の 1 回線事故・作業停電時に 1 回線長距離の 132 kV 送電線のみでの供給となり、エンテベ変電所で電圧低下の問題が生じ易いため、必要であれば電圧低下のシミュレーションとキャパシタ等の設置を計画する必要がある。

また、220 kV については、将来の 132 kV への供給を想定し、エンテベハイウェイ地点に 220 kV 開閉所を設けることを前提に検討してきたが、将来の 132kV への供給がない場合には、220 kV 開閉所は不要である。

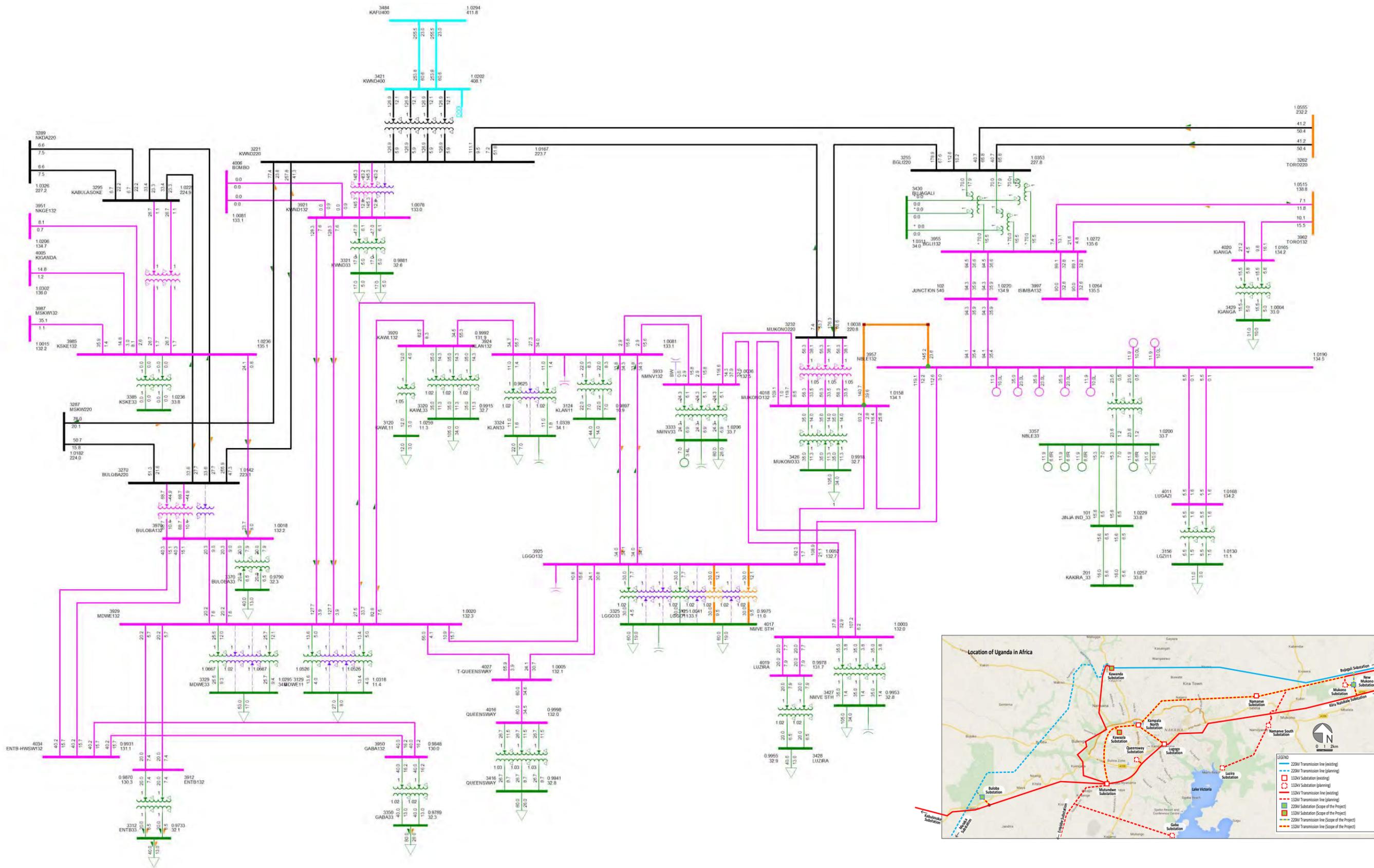
上記の 132 kV での検討結果や将来計画等を総合判断して、220 kV から 132 kV への供給の可否を決定することを UETCL に推奨する。

(8) 調相設備の増強

本事業での潮流解析において、系統構成によっては N-1 事故時に電圧崩壊したり、大きく電圧が低下したりするケースが散見された。

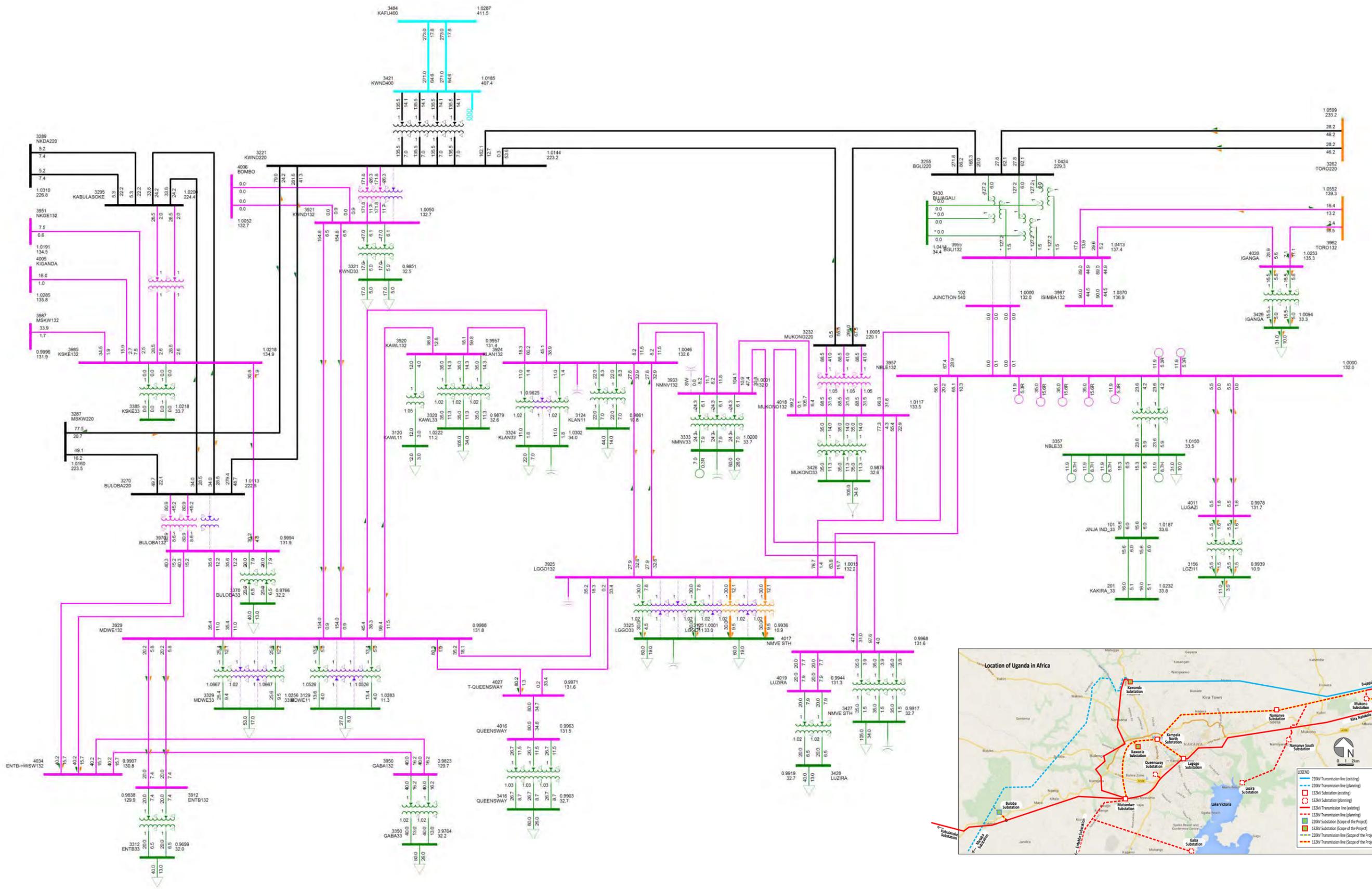
潮流計算結果は、必ずしも実系統の正確な電圧値などを示している訳ではないものの、電圧の傾向を把握するためには非常に有効である。

したがって、他国の例でも需要増加に対し供給設備の増強を進める一方で調相設備の増強が後手に回ったことがあることから、調相設備の増強についても漏らすことなく検討し計画することを UETCL に推奨する。



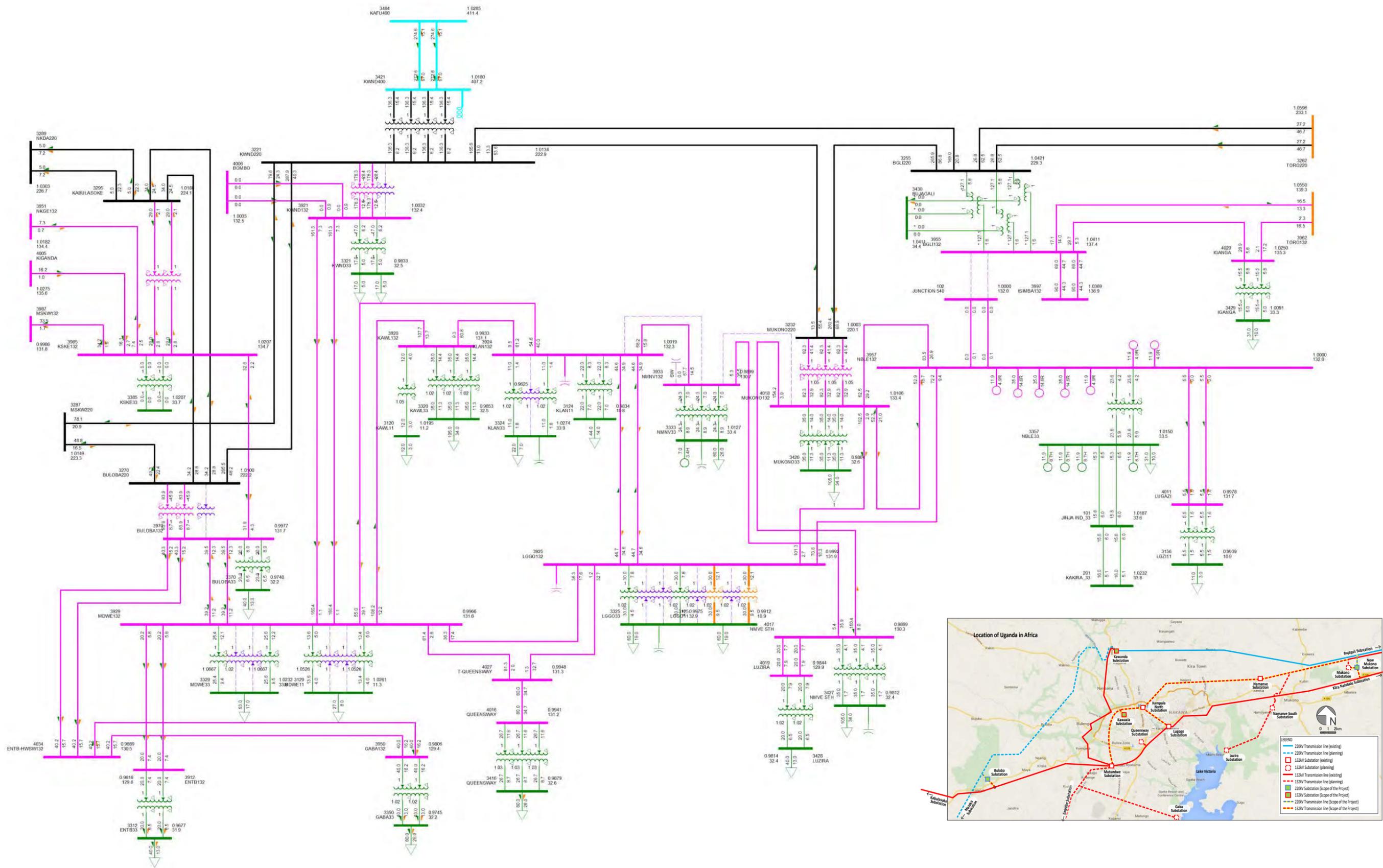
[出所] JICA 調査団

図 4. 1 東側系統に対するシナリオ : シナリオ 1-1



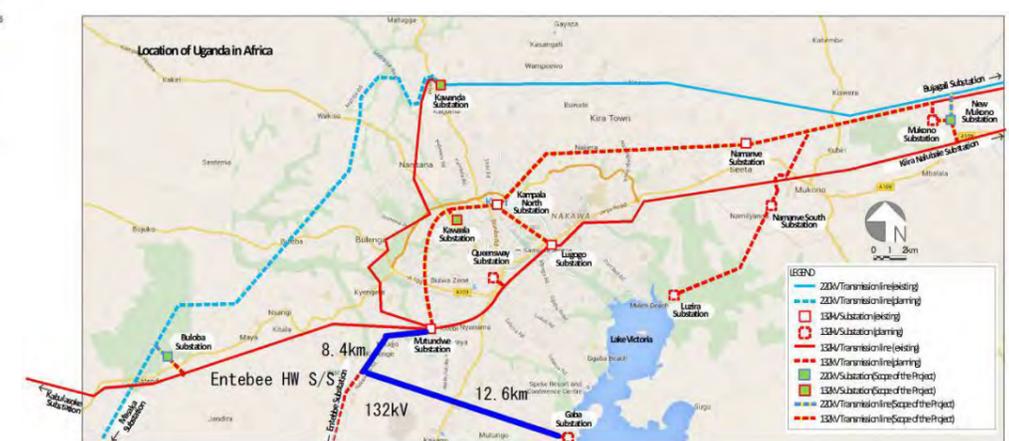
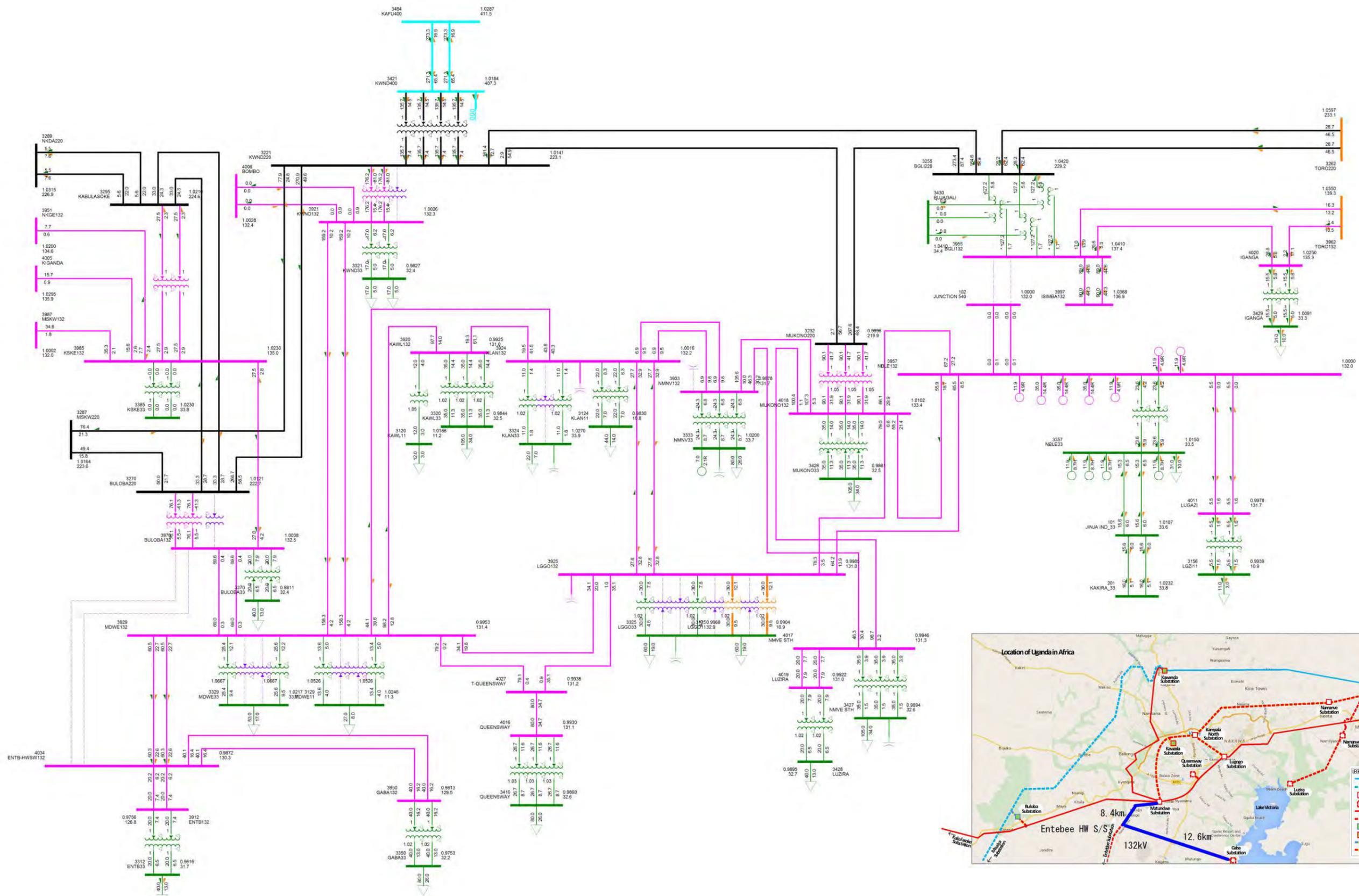
[出所] JICA 調査団

図 4. 2 東側システムに対するシナリオ：シナリオ 1-2



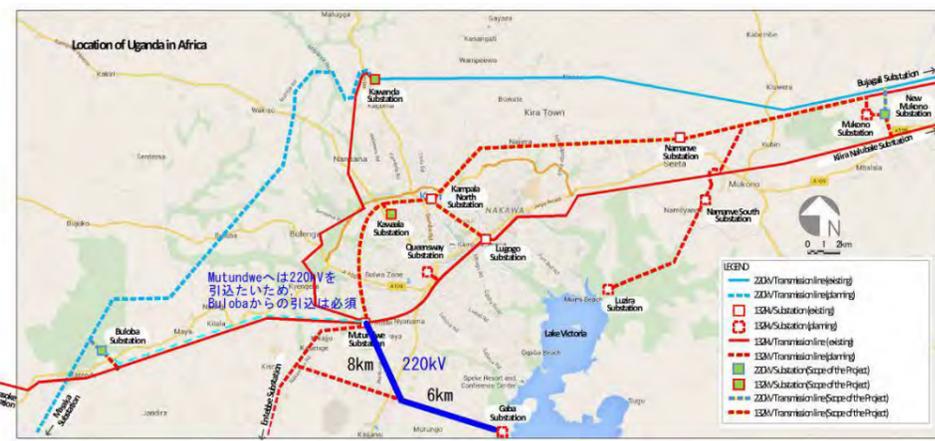
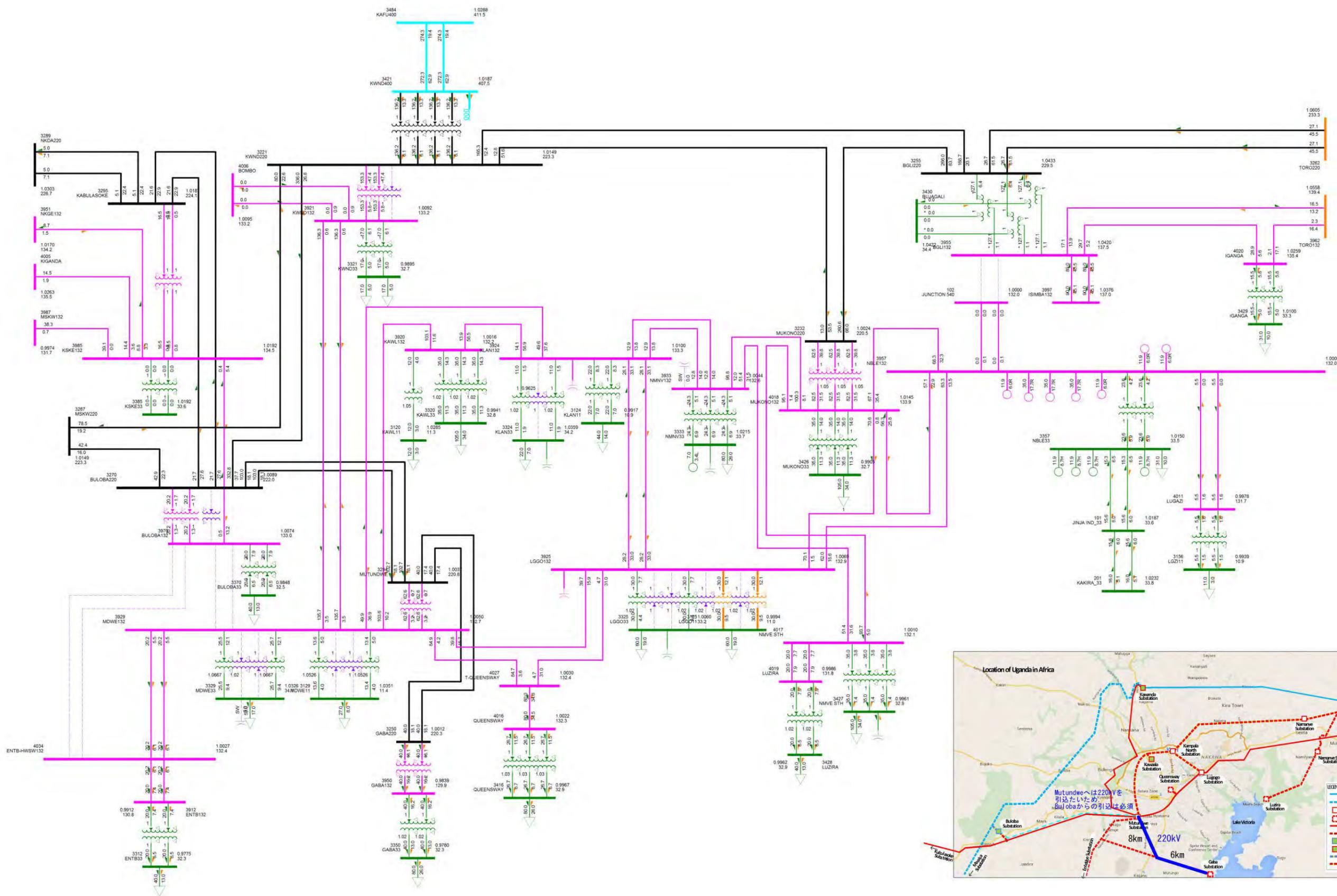
[出所] JICA 調査団

図 4. 3 東側系統に対するシナリオ : シナリオ 1-3



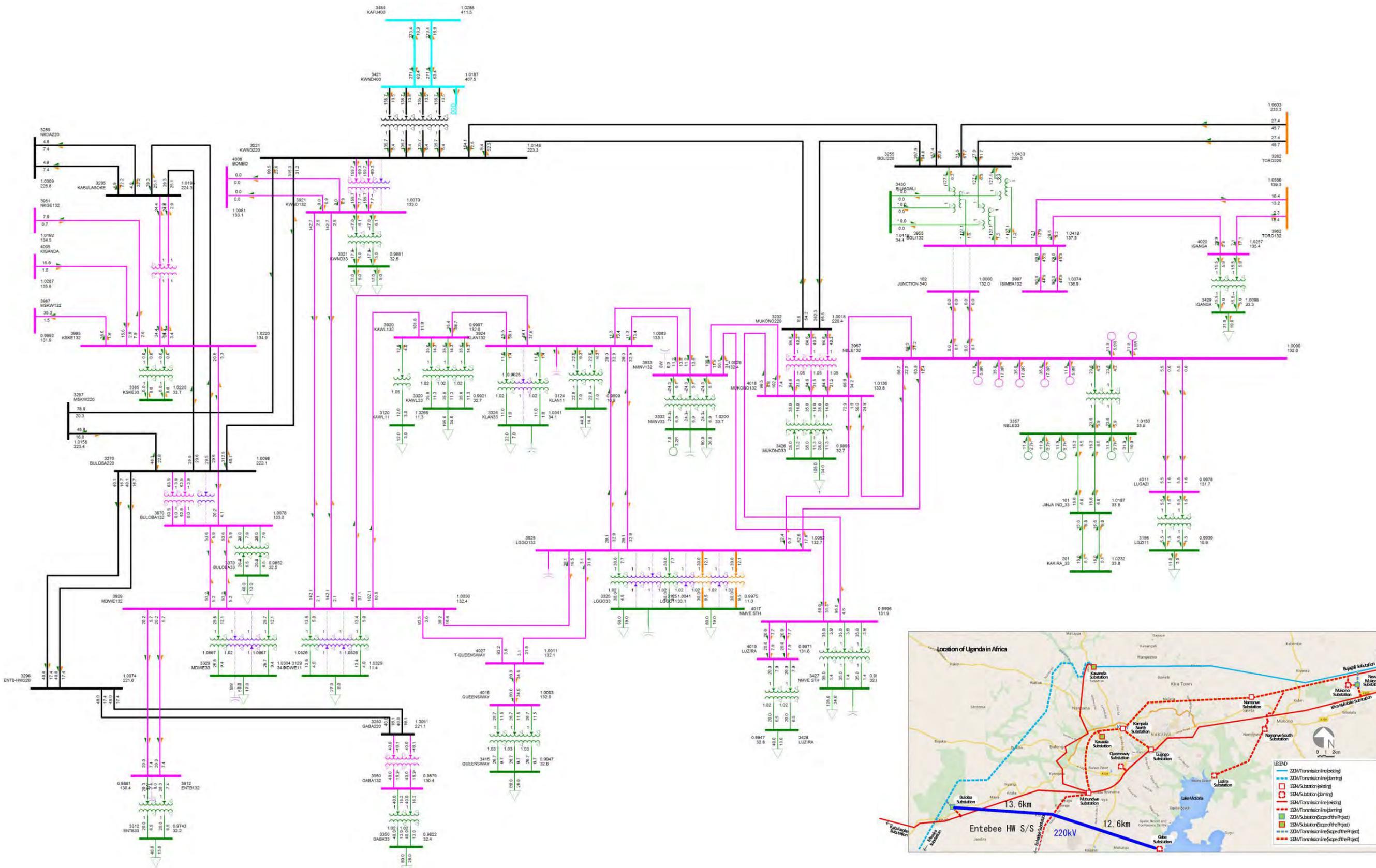
[出所] JICA 調査団

図 4. 4 南西側系統に対するシナリオ：シナリオ 2-1



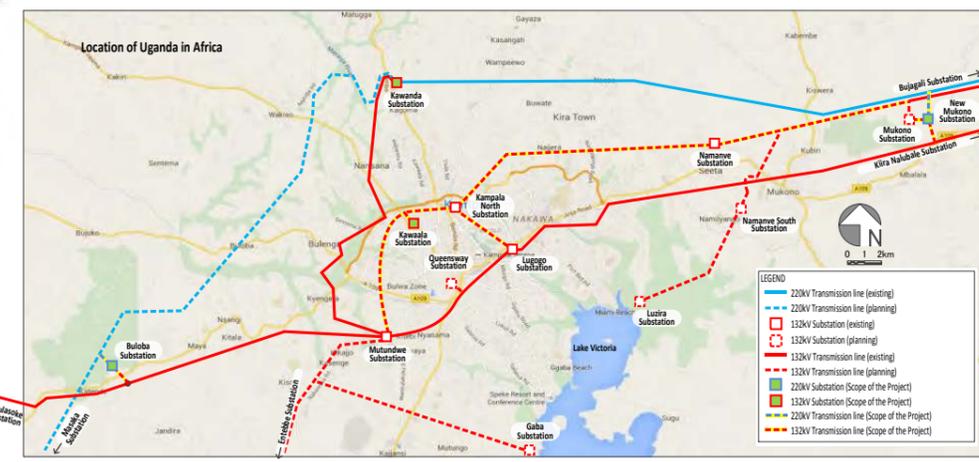
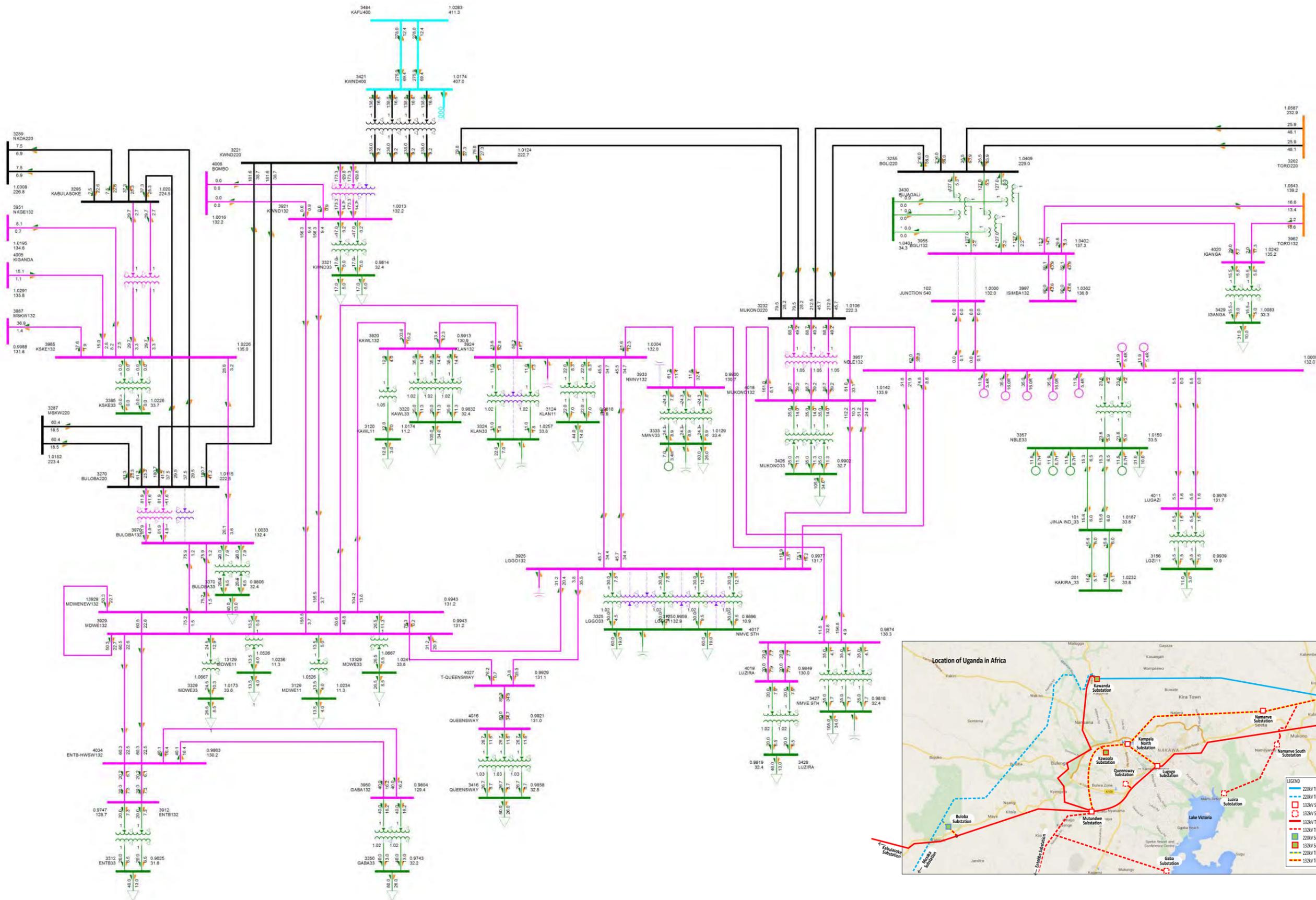
[出所] JICA 調査団

図 4. 5 南西側系統に対するシナリオ：シナリオ 2-2



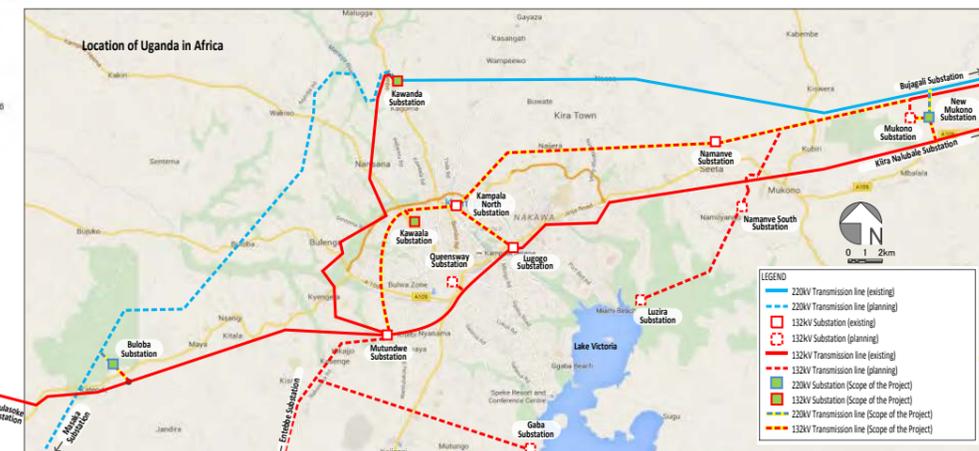
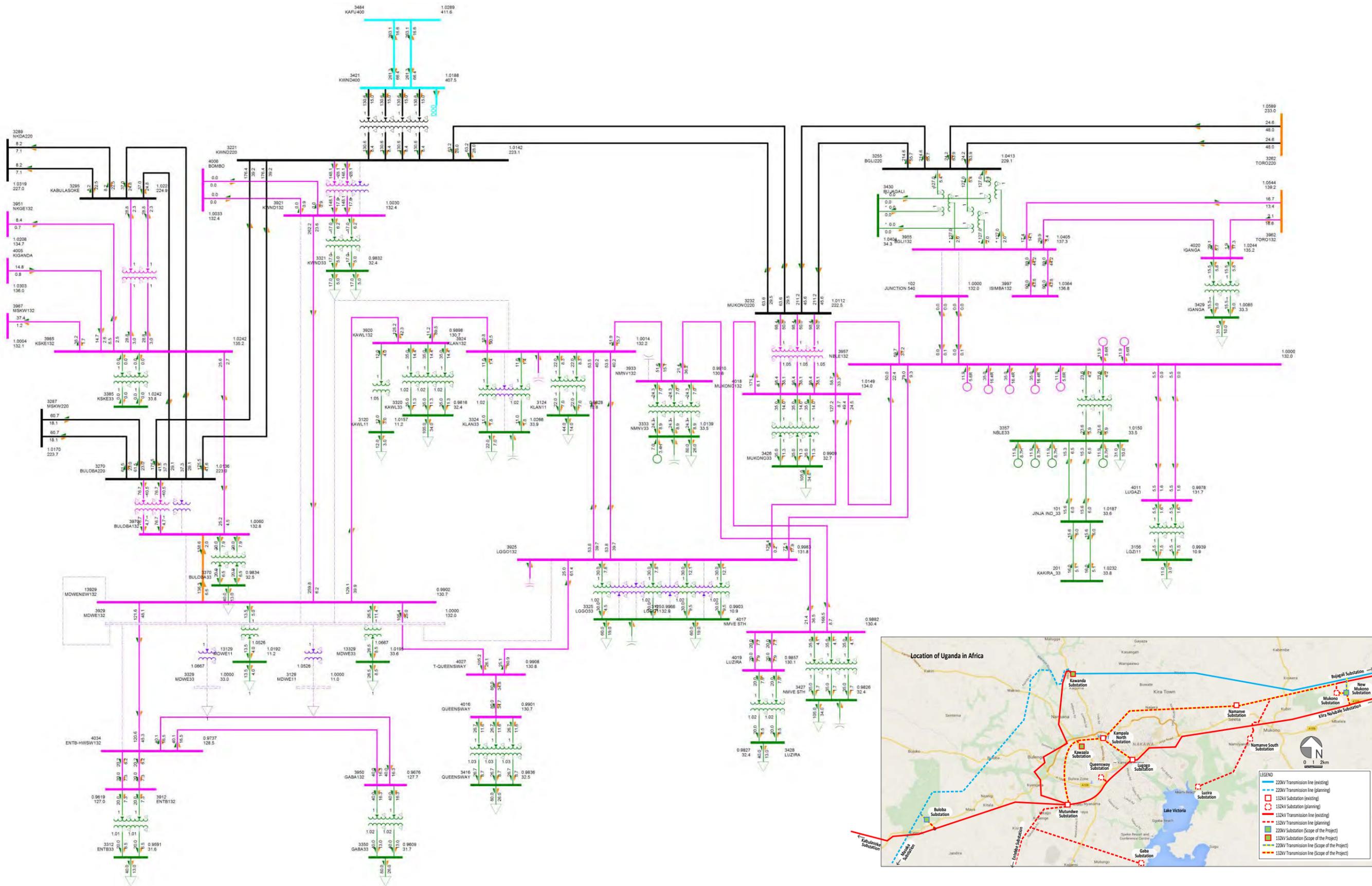
[出所] JICA 調査団

図 4. 6 南西側系統に対するシナリオ：シナリオ 2-3



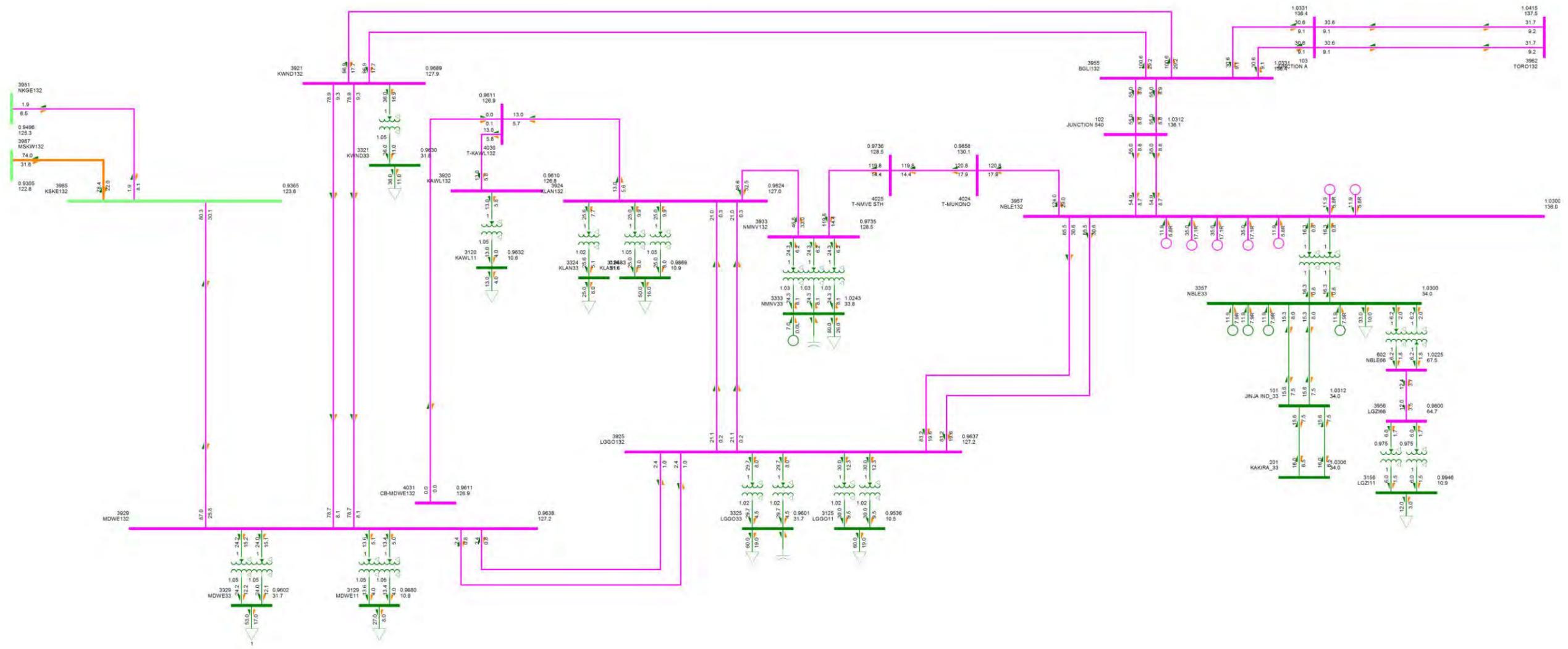
[出所] JICA 調査団

図 4. 7 ムトウノウエ変電所の母線事故に関する検証：常時



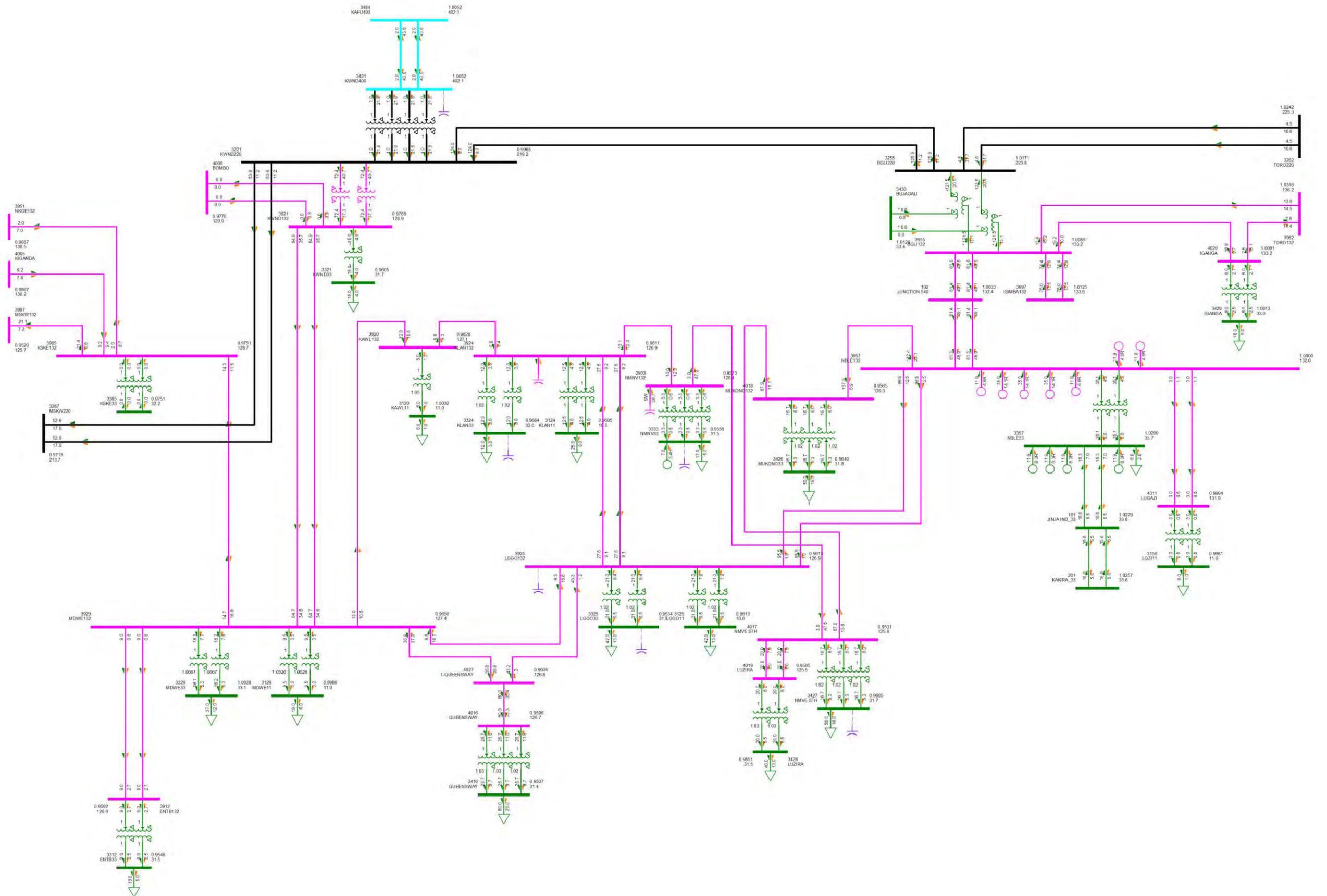
[出所] JICA 調査団

図 4. 8 ムトゥンドゥエ変電所の母線事故に関する検証：母線事故時



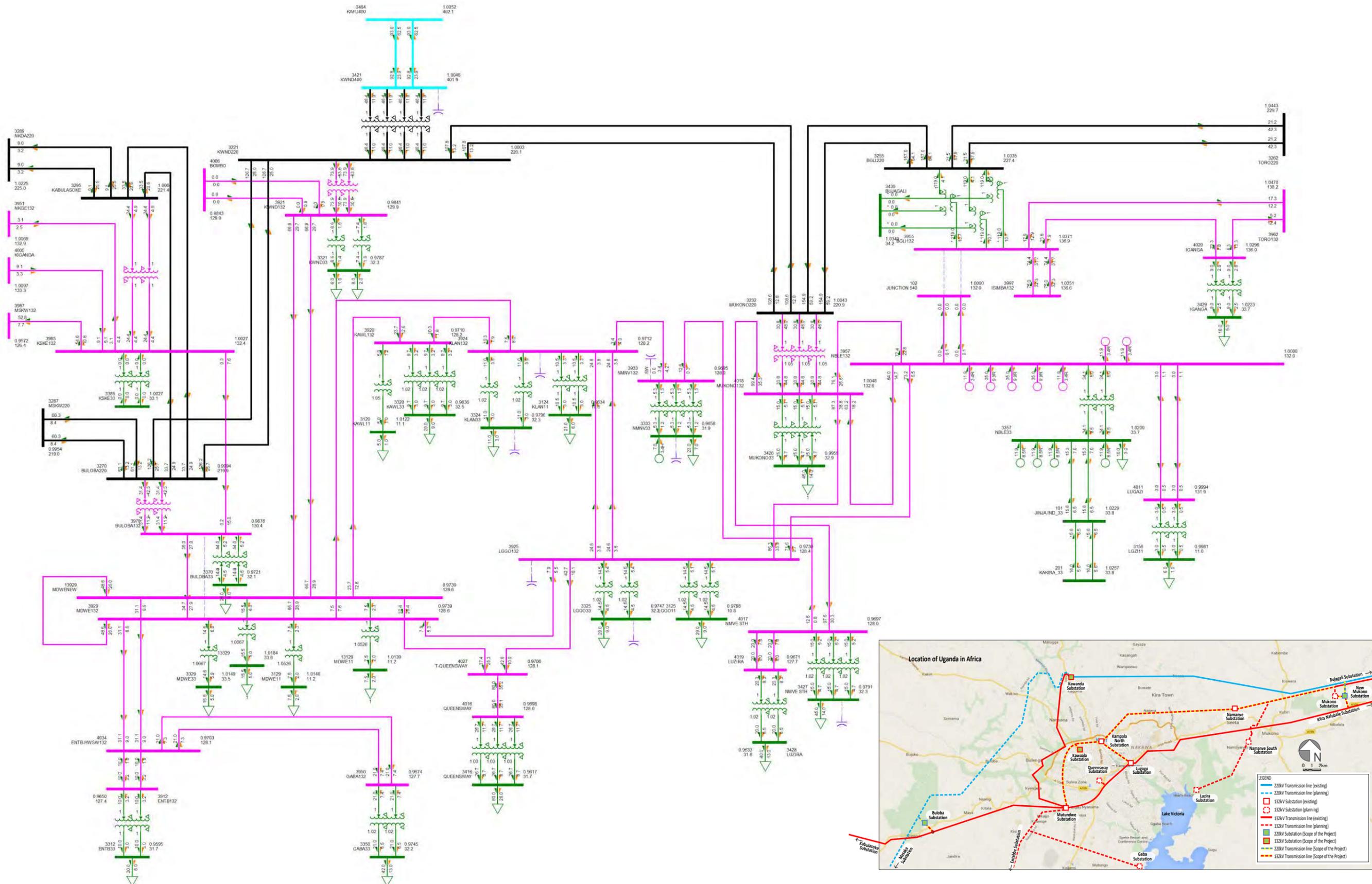
[出所] JICA 調査団

図 4. 10 2015 年断面における常時潮流



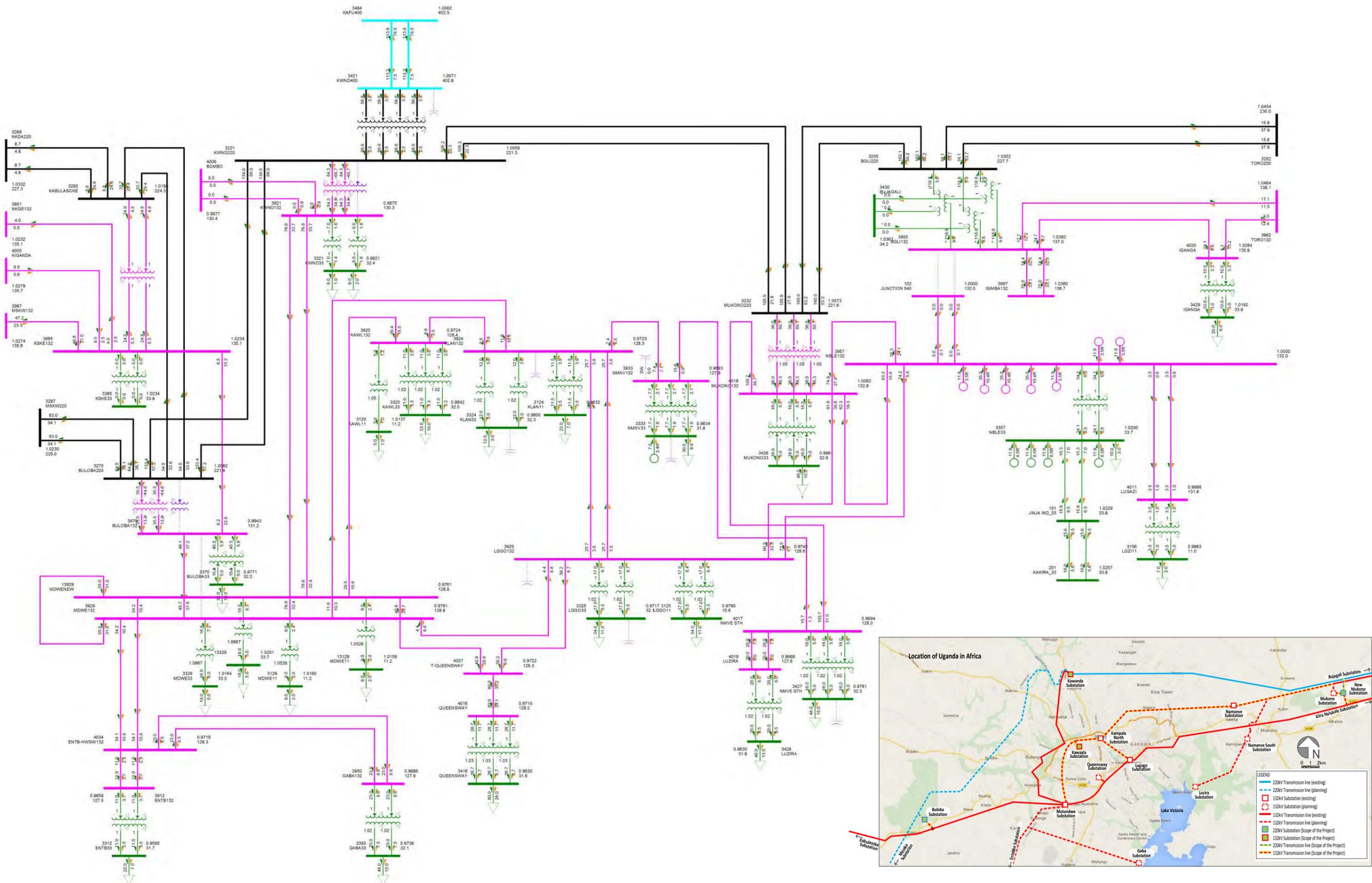
[出所] JICA 調査団

図 4. 1 1 2018 年断面における常時潮流



[出所] JICA 調査団

図 4. 1 2 2020 年断面における常時潮流



[出所] JICA 調査団

図 4. 13 2022 年断面における常時潮流

第5章 概略設計

5-1 プロジェクトコンポーネント

本事業のコンポーネントの概要を表5-1.1に示す。

表5-1.1 案件概要

| 主なコンポーネント | | 仕様・数量 | 内容 |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 変電設備 | 1. プロバ変電所 (1) 220 / 132 kV 変圧器 (2) 132 / 33 kV 変圧器 (3) 220 kV 開閉装置 (4) 132 kV 開閉装置 (5) 33 kV 開閉装置 (6) 制御棟 | 125 MVA×2 台 40 MVA×2 台 1 式 1 式 1 式 1 棟 | 新設 |
| | 2. 新ムコノ変電所 (1) 220 / 132 / 33 kV 変圧器 (2) 220 kV ガス絶縁開閉装置 (3) 132 kV ガス絶縁開閉装置 (4) 制御棟 (5) 132 kV 送電線 (新ムコノ変電所ームコノ変電所) | 125 MVA×3 台 1 式 1 式 1 棟 約 0.3 km×2 回線 | 新設 |
| | 3. カワラ変電所 (1) 132 / 33 kV 変圧器 (2) 132 / 11 kV 変圧器 (3) 132 kV ガス絶縁開閉装置 (変圧器直結型) (4) 33 kV 開閉設備 (5) 11 kV 開閉設備 (6) 制御棟 | 40 MVA×3 台 20 MVA×1 台 1 式 1 式 1 式 1 棟 | 改修 |
| | 4. ブジャガリ変電所 (1) 220 / 132 / 33 kV 変圧器 (2) 220 kV 開閉設備 (3) 132 kV 開閉設備 | 250 MVA×1 台 1 式 1 式 | 増設 |
| | 5. ムトゥンドゥエ変電所 (1) 132 kV 開閉設備 | 1 式 | 増設 |
| | 6. 移動変電所 (132/33 - 11 kV) | 20 MVA×2 台 | 調達 |
| 送電設備 | 7. 220 kV 送電線 (1) プロバ分岐点ープロバ変電所 (2) 新ムコノ分岐点ー新ムコノ変電所 (77 番ー78 番鉄塔間 132 kV 送電線改造含む) | 約 0.9 km×4 回線 約 4.2 km×4 回線 | 新設 新設 |
| | 8. 132 kV 送電線 (1) プロバ分岐点ープロバ変電所 (2) 新ムコノ変電所ー新ムコノ分岐点 (南幹線) (3) ムコノ分岐点 (北幹線)ーカンパラ北変電所 (4) カンパラ北変電所ームトゥンドゥエ変電所 (5) カンパラ北変電所ールゴゴ変電所 (6) カワラ分岐点ーカワラ変電所 | 約 0.8 km×2 回線 約 0.4km×2 回線 約 25.4 km×1 回線 約 10.2 km×2 回線 約 5.3 km×2 回線 約 0.1 km×2 回線 | 新設 新設 張替 張替 張替 ケーブル化 |

[出所] JICA 調査団

5-2 自然条件

(1) 計画地の位置、地質、地形等

1) ブロバ変電所

ブロバ変電所の計画地は、カンパラ中心部から 21 km、マサカーカンパラ道路から 1 km のパリパレセントローレンス大学附近に位置している。標高 1,134 m のビクトリア湖から遡ること 20 km、標高にして約 50 m 上がった地点にあり、計画地の標高は約 1,200 m となる。このサイトはワキソ地区に位置し、バナナ、コーヒーのプランテーションが広がる地域である。

2) 新ムコノ変電所

新ムコノ変電所の計画地は、カンパラ中心部から約 30 km、ジンジャーカンパラ道路のムバララ町ーナマタバ町間から 0.85 km に設置される予定。計画地の標高は約 1,100m となる。このサイトはサトウキビとナダギ森林保護地区に位置している。

3) カワラ変電所

カワラ変電所の計画地はカンパラ中心部にあり、北バイパス、ナムンゴーナ道路、マシロ道路とセンテマ道路間の住宅街に位置している。標高約 1,100 m のビクトリア湖から遡ること約 20 km、標高にして約 60 m 上がった地点にあり、計画地の標高は約 1,200 m となる。

4) ブジャガリ変電所

ブジャガリ変電所の計画地はブジャガリダム周辺にあり、カンパラ中心部から約 70 km、ジンジャーカンパラ道路から 8 km でナイル川沿いに位置する。

5) ムトゥンドウエ変電所

ムトゥンドウエ変電所はカンパラ首都圏内に位置している 4 つの主要変電所の一つである。当該変電所はカンパラ市南部から、国際空港のあるエンテベ地区へ跨る広範囲への電力供給を担う唯一の変電所であり、重要度は極めて高い。

(2) 敷地測量

本事業対象の変電所と送電線の敷地は、ブロバで約 142,400 m²、カワラで約 11,700 m²、ムコノ変電所で約 395,900 m²である。

(3) 温度、降雨、湿度、気圧

カンパラ首都圏とその周辺は、熱帯雨林気候に属している。1 月から 4 月は暑く、これらの月の最高気温は 35℃を超えている。6 月から 8 月は比較的涼しい時期となり、最低気温は約 17℃である。1 年間に 2 度の雨季があり、3 月から 5 月が長雨季、11 月から 12 月が短雨季であるが、一般的には 3 月から 5 月が雨季と認識されている。4 月の降雨量が最も多く、約 170 mm となっている。年間の最低気圧は 977 hPa、最高気圧は 1,016 hPa、平均気圧は 1,009 hPa である。

カンパラ首都圏とその周辺は温度、降雨、湿度、気圧の差が比較的に小さい為、本事業に関わる地域の温度、降雨、湿度、気圧の数値はカンパラ首都圏と同等と仮定した。表 5

ー 2. 1 に世界気象機関からのデータを示す。

表 5-2. 1 カンパラの気候データ

| 月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 年平均 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 記録的な高さ °C (°F) | 33 (91) | 36 (97) | 33 (91) | 33 (91) | 29 (84) | 29 (84) | 29 (84) | 29 (84) | 31 (88) | 32 (90) | 32 (90) | 32 (90) | 36 (97) |
| 高い平均 °C (°F) | 28.6 (83.5) | 29.3 (84.7) | 28.7 (83.7) | 27.7 (81.9) | 27.3 (81.1) | 27.1 (80.8) | 26.9 (80.4) | 27.2 (81) | 27.9 (82.2) | 27.7 (81.9) | 27.4 (81.3) | 27.9 (82.2) | 27.8 (82) |
| 日平均 °C (°F) | 23.2 (73.8) | 23.7 (74.7) | 23.4 (74.1) | 22.9 (73.2) | 22.6 (72.7) | 22.4 (72.3) | 22.0 (71.6) | 22.2 (72) | 22.6 (72.7) | 22.6 (72.7) | 22.5 (72.5) | 22.7 (72.9) | 22.73 (72.93) |
| 低平均 °C (°F) | 17.7 (63.9) | 18.0 (64.4) | 18.1 (64.6) | 18.0 (64.4) | 17.9 (64.2) | 17.6 (63.7) | 17.1 (62.8) | 17.1 (62.8) | 17.2 (63) | 17.4 (63.3) | 17.5 (63.5) | 17.5 (63.5) | 17.6 (63.7) |
| 記録的な低さ °C (°F) | 12 (54) | 14 (57) | 13 (55) | 14 (57) | 15 (59) | 12 (54) | 12 (54) | 12 (54) | 13 (55) | 13 (55) | 14 (57) | 12 (54) | 12 (54) |
| 平均雨量 mm (inches) | 68 (2.68) | 63 (2.48) | 132 (5.2) | 169 (6.65) | 118 (4.65) | 69 (2.72) | 63 (2.48) | 96 (3.78) | 108 (4.25) | 138 (5.43) | 149 (5.87) | 92 (3.62) | 1,265 (49.8) |
| 平均雨の日 (≥ 1 mm) | 5 | 5 | 10 | 12 | 11 | 6 | 5 | 7 | 9 | 9 | 8 | 7 | 94 |
| 平均相対湿度 (%) | 66 | 68.5 | 73 | 78.5 | 80.5 | 78.5 | 77.5 | 77.5 | 75.5 | 73.5 | 73 | 71.5 | 74.5 |
| 平均毎月日照時間 (hr) | 155 | 170 | 155 | 120 | 124 | 180 | 186 | 155 | 150 | 155 | 150 | 124 | 1,824 |
| 気圧 (hPa) | 1010 | 977 | 1007 | 1011 | 1014 | 1014 | 1016 | 1012 | 1013 | 1010 | 1014 | 1013 | 1009 |

[備考]

- ① 「記録的な高さ °C (°F)」：気象庁の今までの観測期間における最高気温。
- ② 「高い平均 °C (°F)」：一日の最高気温の一月間平均。
- ③ 「日平均 °C (°F)」：一日の平均気温の一月間平均。
- ④ 「低平均 °C (°F)」：一日の最低気温の一月間平均。
- ⑤ 「記録的な低さ °C (°F)」：気象庁の今までの観測期間における最低気温

[出所] "World Meteorological Organization, Climate-Data.org for mean temperatures", "BBC Weather", "Weather Underground, Climatevo"からのデータに基づき調査団作成

(4) 風速

カンパラとエンテベの測候所が測定した最大風速を、表 5-2. 2 および表 5-2. 3 に示す。2005 年から 2014 年迄の最大風速は、カンパラで 25 m/s、エンテベで 15 m/s であった。風速は 5 分平均風速で測定し、場所は風が自由に流れ、近くの物体に影響されない場所。測定機器は床から 2.0m の高さで設置されている。

表 5-2. 2 カンパラ市における月別最大風速 (単位 : m/s)

| 年 \ 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2005 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2006 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2007 | 15 | 10 | 11 | 8 | 10 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2008 | 8 | 10 | 14 | 8 | 12 | 8 | 10 | 16 | 10 | 8 | - | 12 |
| 2009 | 12 | 14 | 12 | 11 | 12 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 15 | 6 |
| 2010 | 15 | 6 | 8 | 10 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 10 |
| 2011 | 10 | 10 | 10 | - | - | - | - | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 |
| 2012 | 15 | 20 | 20 | 15 | 15 | 16 | 15 | 20 | 10 | 15 | 20 | 20 |
| 2013 | 20 | 25 | 10 | 19 | 20 | 20 | 20 | 20 | 5 | 15 | 14 | 10 |
| 2014 | 15 | 15 | 19 | 15 | 13 | 10 | 18 | 15 | 8 | 20 | 12 | 15 |

[出所] ウガンダ国立気象局 (UNMA)

表5-2. 3 エンテベ市における月別最大風速 (単位 : m/s)

| 年 \ 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2005 | 6 | 7 | 6 | 6 | 5 | 7.5 | 6 | 5.5 | 5 | 5 | 5.5 | 6 |
| 2006 | 7 | 6.5 | 5 | 7 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 6.5 | 7 | 8.5 | 6 | 5 |
| 2007 | 5.5 | 6 | 10 | 5.5 | 5 | 5.5 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 6 |
| 2008 | 12 | 10 | 13 | 12 | 13 | 15 | 14 | 10 | 13 | 13 | 14 | 14 |
| 2009 | 15 | 15 | 15 | 14 | 15 | 14 | 14 | 13 | 14 | 12 | 12 | 12 |
| 2010 | 7.5 | 5.5 | - | 6 | 6 | 7.5 | 7.5 | 7 | 7 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 2011 | 8 | 8 | 7 | 6.5 | 7 | 7.5 | 6.5 | 8.5 | 7 | 6.5 | 5 | 6 |
| 2012 | 7 | - | 7 | 7 | 6.5 | 8 | 6.5 | 8.5 | 7 | 6.5 | 8.5 | 7.5 |
| 2013 | 7 | 7.5 | 6.5 | 7.5 | 7.5 | 7 | 7.5 | 7 | 7.5 | 8.5 | 6 | 6.5 |
| 2014 | 6 | - | 8 | - | 7.5 | 7.5 | 7 | 7 | 9 | 7 | 6.5 | 6 |

[出所] ウガンダ国立気象局 (UNMA)

(5) 雷雨

カンパラ市とエンテベ市で測定された毎月の雷雨日数を、表5-2. 4および表5-2. 5に示す。年度により差があるものの、概ね8月から12月間の雷雨日数が多い。

アメリカ航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration: NASA) と熱帯降雨観測衛星 (Tropical Rainfall Measuring Mission: TRMM) の観測データによると、ウガンダは1平方キロメートル当たりで年間70数の稲妻閃光が見られた。又、「世界気候の調査 (エルゼビア出版社)」のデータによると、カンパラからは年間242雷雨の日があった。

表5-2. 4 カンパラ市における月別雷雨日数 (単位 : 日数)

| 年 \ 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年間合計 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| 2005 | 8 | 5 | 8 | 4 | 3 | 3 | 7 | 8 | 11 | 12 | 12 | 2 | 83 |
| 2006 | 6 | 11 | 7 | 11 | 12 | 4 | 12 | 8 | 2 | 4 | 16 | 8 | 101 |
| 2007 | 7 | 5 | 7 | 6 | 8 | 7 | 9 | 12 | 12 | 11 | 11 | 3 | 98 |
| 2008 | 5 | 5 | 9 | 17 | 6 | 2 | 4 | 4 | 11 | 11 | 15 | 9 | 98 |
| 2009 | 7 | 11 | 6 | 7 | 7 | 2 | 3 | 10 | 12 | 7 | 8 | 8 | 88 |
| 2010 | 7 | 13 | 11 | 8 | 7 | 7 | 3 | 10 | 7 | 19 | 14 | 10 | 116 |
| 2011 | 2 | 4 | 9 | X | X | 9 | 3 | 11 | 17 | 14 | 17 | 11 | 97 |
| 2012 | 2 | 7 | 7 | 3 | 5 | 3 | 13 | 5 | 9 | 11 | 8 | 8 | 81 |
| 2013 | 10 | 6 | 8 | 13 | 11 | 4 | 3 | 9 | 12 | 11 | 14 | 7 | 108 |
| 2014 | 12 | 2 | 6 | 17 | 18 | 10 | 3 | 11 | 11 | 11 | 17 | 4 | 122 |

[出所] ウガンダ国立気象局 (UNMA)

表5-2. 5 エンテベ市における月別雷雨日数 (単位 : 日数)

| 年 \ 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年間合計 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| 2005 | 14 | 6 | 21 | 23 | 29 | 14 | 15 | 8 | 17 | 26 | 21 | 11 | 205 |
| 2006 | 10 | 12 | 23 | 25 | 23 | 19 | 12 | - | 18 | 19 | 25 | 17 | 203 |
| 2007 | 13 | 12 | 13 | 23 | 24 | 16 | 14 | 16 | 15 | 18 | 16 | 13 | 193 |
| 2008 | 18 | 13 | 24 | 24 | 23 | 12 | 15 | 20 | 16 | 28 | 17 | 16 | 226 |
| 2009 | 16 | 17 | 20 | 23 | 21 | 13 | 10 | 13 | 13 | 23 | 15 | 20 | 204 |
| 2010 | 14 | 15 | - | 17 | 17 | 13 | 8 | 14 | 15 | 13 | 19 | 16 | 161 |
| 2011 | 9 | 8 | 14 | 16 | 19 | - | 9 | 12 | 17 | 12 | 17 | 14 | 147 |
| 2012 | 1 | 6 | 7 | 14 | 10 | 14 | 1 | 6 | 9 | 8 | 14 | 14 | 104 |
| 2013 | 12 | 7 | 14 | 10 | 9 | 2 | 5 | 5 | 10 | 6 | 7 | 1 | 88 |
| 2014 | 4 | 12 | 18 | 10 | 11 | 19 | 19 | 21 | 21 | 14 | - | 3 | 152 |

[出所] ウガンダ国立気象局 (UNMA)

(6) 地質調査

地質調査は米国材料試験協会の規格「American Society for Testing and Materials (ASTM) D420」に基づいて行った。本事業対象地における原位置調査とボーリング孔から採取した試料の室内試験を行った。標準貫入試験は ASTM1586 に基づき実施し、各地層の代表値を求めた。室内試験は ASTM4220 に基づき、攪乱試料を供試体として地盤の物理および力学的特性を求めた。

一般に、5 m 厚以上の地層の工学的性質は一定では無く、施設計画の前提条件である地耐力、沈下量等の工学的特性を適切に予測・捕捉するためには、ボーリング孔に沿って複数サンプルを採取し、一軸圧縮試験 (Unconfined Compressive Strength)、三軸圧縮試験 (Tri-axial Test)、圧密試験 (Consolidation Test) 等を行い、地質条件確認のための基礎資料とする必要がある。

室内試験であるこれらの一軸圧縮、三軸試験、圧密試験等から地耐力と沈下量が算出され、施設計画の前提条件が得られる。一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験から導かれる地耐力は、標準貫入試験から想定されるものと比較し、実際の土質に即した許容支持力を与える。標準貫入試験結果は土質の工学的特性、地耐力と相関しているが、土質条件によりその相関性が低い場合があり、特に、粗礫、岩、軟弱粘土、シルト、及びそれらの混合土に関しては相関性が低いことが確認されている。周辺の既存の地質データも存在しないことから、土質の工学的特性を予測、捕捉するためには、土質の深さに応じて複数のサンプリングを行い、室内試験を通じて土質特性を評価することが施設計画を行う上で不可欠である。

上記から、本事業対象地において、5 m 毎にサンプリングし評価を行った。

1) ブロバ変電所

ブロバ変電所においては、対象地周辺に湿地が確認される、傾斜が大きい等の現状を踏まえると、地質条件が場所により大きく異なることも想定される。したがって、標準貫入試験及び室内試験用資料のサンプリングは、変電所計画用地内及び引込み送電線ルート上で実施した。変電所用地に関しては、敷地内で 14 m 程度の高低差があったため、用地内で標高が高い位置と低い位置の 2 箇所を実施した。

標準貫入試験及び室内試験の結果は、添付資料－9「地質調査結果」の巻頭の表 1－1 から表 1－1 1 に示す。

変電所用地内の地質調査の結果によると、表層から 1.0m 付近までは有機質土で、その後 5.5m 付近まで粘土質砂利が続き、さらに深い層はシルトである。

「平成 13 年国土交通省告示第 1113 号」に準拠して次式をもとに、室内試験の三軸圧縮試験結果等から算定した各層の許容支持力を表 5－2. 6 に示す。

$$\text{許容支持力} : q_a [\text{kPa}] = (1/3) \times (\alpha \cdot C \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

- B : 基礎荷重面の短辺の長さ
(建屋基礎面積 : 18m x 42m、鉄塔基礎面積 : 6m x 6m)
- α 、 β : 形状係数 (内部摩擦角から決まる係数)
- Df : 基礎の根入れ (計画深さ = 3.0m 程度)
- C : 粘着力 (三軸試験結果から算出)
- N_c 、 N_γ 、 N_q : 支持力係数 (一般支持力係数表から算出)

φ : 内部摩擦角 (三軸試験結果から算出)

表5-2.6に示すように、算定した結果、変電所敷地内では基礎床板付近と想定されるGL-3.0m位置で125kPa(BH02)及び250kPa(BH04)程度が確保されている。

表5-2.6 プロバ変電所敷地内の地耐力(室内試験結果より算定)

| 試験方法 | | 平成13年国土交通省告示第1113号 | |
|--------|---------------|--------------------|-------------|
| | | 許容支持力 qa (kPa) | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-1.0~6.0m | 125 | 250 |
| | GL-6.0~11.0m | 200 | 140 |
| | GL-11.0~16.0m | 180 | 970 |
| | GL-16.0~21.0m | 200 | 210 |
| | GL-21.0~26.0m | 340 | 290 |
| | GL-26.0~30.0m | 340 | 280 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書(添付資料-9)

また、施設計画にあたっては、想定される沈下量の水準を評価しておく必要がある。圧密沈下量は、室内試験の圧縮試験及び圧密試験結果等を基礎データとし、次式から算定される。

$$\text{即時圧密沈下 } \rho_{dc} = (1/E)i \cdot \Delta\sigma \cdot H_o$$

E : ヤング係数 (三軸試験結果から算出)

i : 影響係数 (0.45 で仮定)

$\Delta\sigma$: 平均応力 (200 kpa で仮定)

H_o : 粘土の厚み (ボーリング調査から算出)

$$\text{一次圧密沈下 } \rho_{pc} = H_o \cdot m_v \cdot \Delta\sigma_z$$

m_v : 弾性係数 (圧密試験結果から算出)

$\Delta\sigma_z$: 応力増加 (0.45 $\Delta\sigma$ で仮定)

H_o : 粘土の厚み (ボーリング調査から算出)

$$\text{二次圧密沈下 (25年・50年)} \quad \rho_{sc} = (H_o / (1 + e_p)) C_\alpha \log(t / t_p)$$

C : 二次圧密沈下係数 ; ([1/(1+ e_p)] $C_\alpha = 0.003$ で仮定)

t : 二次圧密に要する時間 (圧密試験結果から算出)

t_p : 一次圧密に要する時 (圧密試験結果から算出)

H_o : 粘土の厚み (ボーリング調査から算出)

算定された即時圧密沈下、一次圧密沈下、二次圧密沈下(25年・50年)を表5-2.7に示す。算定結果を踏まえ、圧密沈下の恐れがあることが確認されたため、ベタ基礎とする場合は、変電所敷地内の北側のポイントBH02で185mm程度、変電所敷地内の南側のポイントBH04で215mm程度の50年間沈下量を考慮する。確認された沈下量は、「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」に示されている最大値の300mmを下回っているため、問題ないと判断される。以上を踏まえ、変電所敷地内の変電所設備機器と建屋に関しては、一般的なベタ基礎を採用して施設計画を行う方針とする。

表5-2.7 プロバ変電所敷地内の圧密沈下量（室内試験結果より算定）

| 項目 | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
|------------------------------|-------------|-------------|
| 一次圧密に要する時(年) | 2.5 | 5.4 |
| 200 kPa からの一次圧密沈下量 (mm) | 126.0 | 162.0 |
| 200 kPa からの即時圧密沈下量 (mm) | 20.0 | 22.5 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 25年間 | 30.0 | 20.2 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 50年間 | 39.0 | 29.2 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 25年間 | 176.0 | 204.7 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 50年間 | 185.03 | 214 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

プロバ変電所敷地内の室内試験結果を下記の表5-2.8～表5-2.15に示す。

表5-2.8 プロバ変電所敷地内の含水量（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4959 | |
|--------|---------------|-------------|-------------|
| | | 含水量 (%) | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 34.5 | 19.2 |
| | GL-10.5~11.0m | 37.3 | 22.1 |
| | GL-15.5~16.0m | 35.9 | 24.4 |
| | GL-20.5~21.0m | 29.5 | 29.7 |
| | GL-25.5~26.0m | 28.3 | 27.1 |
| | GL-28.5~29.0m | 22.6 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 22.7 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2.9 プロバ変電所敷地内の液性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 | |
|--------|---------------|-------------|-------------|
| | | 液性限界 | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 65.6 | 53.9 |
| | GL-10.5~11.0m | 68.0 | 61.9 |
| | GL-15.5~16.0m | 61.3 | 66.0 |
| | GL-20.5~21.0m | 65.1 | 59.9 |
| | GL-25.5~26.0m | 62.6 | 54.8 |
| | GL-28.5~29.0m | 59.7 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 54.3 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2.10 プロバ変電所敷地内の塑性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 | |
|--------|---------------|-------------|-------------|
| | | 塑性限界 | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 44.6 | 20.1 |
| | GL-10.5~11.0m | 38.6 | 34.1 |
| | GL-15.5~16.0m | 42.6 | 32.0 |
| | GL-20.5~21.0m | 44.0 | 40.4 |
| | GL-25.5~26.0m | 41.7 | 33.9 |
| | GL-28.5~29.0m | 36.5 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 34.6 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 11 ブロバ変電所敷地内の比重（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D854 | |
|--------|---------------|-------------|-------------|
| | | 平均比重 | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 2.732 | 2.795 |
| | GL-10.5~11.0m | 2.744 | 2.639 |
| | GL-15.5~16.0m | 2.713 | 2.694 |
| | GL-20.5~21.0m | 2.662 | 2.716 |
| | GL-25.5~26.0m | 2.691 | 2.682 |
| | GL-28.5~29.0m | 2.721 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 2.638 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 12 ブロバ変電所敷地内の湿潤密度（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D2937 | |
|--------|---------------|--------------------------|-------------|
| | | 湿潤密度(Mg/m ³) | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 1.80 | 1.97 |
| | GL-10.5~11.0m | 1.70 | 2.01 |
| | GL-15.5~16.0m | 1.74 | 1.81 |
| | GL-20.5~21.0m | 1.82 | 1.79 |
| | GL-25.5~26.0m | 1.86 | 1.86 |
| | GL-28.5~29.0m | 1.71 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 1.93 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 13 ブロバ変電所敷地内の一軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D2166 | |
|--------|---------------|--------------|-------------|
| | | 粘着力 Cu (kPa) | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-1.5~2.0m | - | 70 |
| | GL-3.0~4.0m | 33 | - |
| | GL-5.5~6.0m | 23 | - |
| | GL-7.5~8.0m | - | - |
| | GL-10.5~11.0m | 20 | 38 |
| | GL-11.5~12.0m | - | 20 |
| | GL-15.5~16.0m | 30 | - |
| | GL-18.5~19.0m | - | - |
| | GL-19.5~20.0m | - | 25 |
| | GL-23.5~24.0m | - | 37 |
| | GL-24.5~25.0m | 41 | - |
| | GL-25.5~26.0m | - | - |
| | GL-28.5~29.0m | 46 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 19 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 14 プロバ変電所敷地内の三軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D2850 と D4767 | |
|--------|---------------|--------------------|-------------|
| | | 粘着力 Cu (kPa) | |
| ボーリング孔 | | 敷地内北側 (BH2) | 敷地内南側 (BH4) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 60 | 133 |
| | GL-10.5~11.0m | 40 | 34 |
| | GL-15.5~16.0m | 36 | 84 |
| | GL-20.5~21.0m | 29 | 31 |
| | GL-25.5~26.0m | 100 | 86 |
| | GL-28.5~29.0m | 66 | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | 60 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 15 プロバ変電所敷地内の圧密試験（室内試験結果より算定）

| Borehole No.: | Depth (m) | Pre-Consolidation pressure (kN/m ²) | Overburden Pressure (kN/m ²) | Compression Index, C _c | Coefficient of Volume Compressibility M _v (m ² /MN) | | | Coefficient of Consolidation C _v (cm ² /sec) | | | Permeability, k (m/s) ×10 ⁹ | | |
|---------------|-----------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------|-------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|----------------------------------------|-------|-------|
| | | | | | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave |
| | | | | | BH 02 | 5.5-6.0 | 320.0 | 96.9883 | 0.469 | 0.085 | 0.395 | 0.165 | 0.003 |
| 10.5-11.0 | 250.0 | 175.2315 | 0.108 | 0.036 | | 0.200 | 0.123 | 0.012 | 0.018 | 0.015 | 0.410 | 3.172 | 1.895 |
| 15.5-16.0 | 265.1 | 265.1 | 0.032 | 0.012 | | 0.066 | 0.039 | 0.001 | 0.006 | 0.003 | 0.016 | 0.225 | 0.099 |
| 20.5-21.0 | 366.4 | 366.3702 | 0.114 | 0.026 | | 0.249 | 0.120 | 0.008 | 0.014 | 0.011 | 0.248 | 1.855 | 1.249 |
| 25.5-26.0 | 465.5 | 465.5 | 0.108 | 0.039 | | 0.239 | 0.133 | 0.009 | 0.016 | 0.012 | 0.329 | 3.855 | 1.783 |
| 28.5-29.0 | 477.1 | 477.1 | 0.158 | 0.040 | | 0.184 | 0.098 | 0.003 | 0.015 | 0.008 | 0.118 | 2.636 | 1.023 |
| BH 04 | 5.5-6.0 | 260.0 | 106.4684 | 0.059 | 0.025 | 0.064 | 0.040 | 0.002 | 0.006 | 0.003 | 0.048 | 0.162 | 0.106 |
| | 10.5-11.0 | 260.0 | 206.5851 | 0.077 | 0.041 | 0.128 | 0.079 | 0.001 | 0.004 | 0.002 | 0.040 | 0.486 | 0.178 |
| | 15.5-16.0 | 274.8 | 274.8 | 0.138 | 0.062 | 0.217 | 0.147 | 0.003 | 0.007 | 0.005 | 0.382 | 0.816 | 0.602 |
| | 20.5-21.0 | 359.2 | 359.2 | 0.237 | 0.085 | 0.334 | 0.211 | 0.003 | 0.010 | 0.005 | 0.546 | 0.864 | 0.724 |
| | 25.5-26.0 | 464.2 | 464.2 | 0.182 | 0.095 | 0.537 | 0.287 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.268 | 1.143 | 0.627 |
| | 30.5-31.0 | 578.7 | 578.7 | 0.105 | 0.055 | 0.194 | 0.126 | 0.005 | 0.007 | 0.006 | 0.360 | 1.111 | 0.722 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

送電ルートに関しては、高低差が大きいうえ、ルート上に湿地等も確認されたことから、220 kV 送電線側 (BH03) で1箇所、132 kV 送電線側 (BH01) で1箇所、地質調査を実施した。標準貫入試験及び室内試験の結果は、添付資料-9「地質調査結果」の巻頭表1-1から表1-11に示す。

220 kV 送電線側 (BH03) の結果は、変電所用地内で行った試験位置と高低差があるが、ほぼ変電所計画用地内と同じ地層分布を呈していた。一方、132 kV 送電線側 (BH01) の結果は、表層5.0 mまでが粘土質砂、それ以降はシルトと粘土が1 m毎に変化する地層であることが確認された。

「平成13年国土交通省告示第1113号」に準拠して前述の式をもとに、室内試験の三軸圧縮試験結果等から算定した各層の許容支持力を表5-2. 16に示す。同表に示すように、算定した結果、送電ルート上では基礎床板付近と想定されるGL-3.0 m位置で150 kPa (BH01) 及び315 kPa (BH03) 程度が確保されている。

表5-2. 16 ブロバ変電所引込み送電ルート上の地耐力（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | 平成13年国土交通省告示第1113号 | |
|--------|---------------|--------------------|----------------|
| | | 許容支持力 q_a (kPa) | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-1.0~6.0m | 150 | 315 |
| | GL-6.0~11.0m | 130 | 200 |
| | GL-11.0~16.0m | 140 | 500 |
| | GL-16.0~21.0m | 260 | 210 |
| | GL-21.0~26.0m | - | - |
| | GL-26.0~30.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

また、圧密沈下量は、室内試験の圧縮試験及び圧密試験結果等を基礎データとし、前述の式から算定される。算定された即時圧密沈下、一次圧密沈下、二次圧密沈下（25年・50年）を表5-2. 17に示す。132 kV 送電線側（BH01）及び220 kV 送電線側（BH03）の沈下量は200 mm~290 mm程度で変電所敷地内とほぼ同程度の水準であり、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」に示されている最大値の300 mmを下回っているため、問題ないと判断される。しかしながら、同表に示すように、132 kV 送電線側の試験結果（BH01）及び220 kV 送電線側（BH03）によると、中間の粘土層の影響により200mm~290 mm程度の沈下量が想定されている。この箇所（送電ルート）については、132 kV 及び220 kV 線の送電鉄塔基礎は杭基礎として設計する。

表5-2. 17 ブロバ変電所引込み送電ルート上の圧密沈下量（室内試験結果より算定）

| 項目 | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
|------------------------------|----------------|----------------|
| 一次圧密に要する時(年) | 10 | 1.7 |
| 200 kPa からの一次圧密沈下量 (mm) | 229.5 | 144.0 |
| 200 kPa からの即時圧密沈下量(mm) | 30.0 | 21.0 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 25年間 | 18.0 | 35.0 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 50年間 | 31.4 | 44.0 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 25年間 | 277.4 | 200.0 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 50年間 | 291.0 | 209.0 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

ブロバ変電所引込み送電ルート上の室内試験結果を下記の表5-2. 18~表5-2. 25に示す。

表5-2. 18 ブロバ変電所引込み送電ルート上の含水量（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4959 | |
|--------|---------------|----------------|----------------|
| | | 含水量 (%) | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 23.0 | 25.8 |
| | GL-10.5~11.0m | 24.5 | 31.0 |
| | GL-15.5~16.0m | 26.5 | 30.9 |
| | GL-20.5~21.0m | 28.9 | 29.2 |
| | GL-25.5~26.0m | - | 26.5 |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | 25.9 |
| | GL-30.5~31.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 19 ブロバ変電所引込み送電ルート上の液性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 | |
|--------|---------------|----------------|----------------|
| | | 液性限界 | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 47.4 | 64.9 |
| | GL-10.5~11.0m | 44.7 | 41.2 |
| | GL-15.5~16.0m | 44.8 | 59.9 |
| | GL-20.5~21.0m | 49.9 | 56.5 |
| | GL-25.5~26.0m | - | 57.7 |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | 61.3 |
| | GL-30.5~31.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 20 ブロバ変電所引込み送電ルート上の塑性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 | |
|--------|---------------|----------------|----------------|
| | | 塑性限界 | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 24.4 | 39.8 |
| | GL-10.5~11.0m | 28.8 | 22.6 |
| | GL-15.5~16.0m | 28.0 | 33.7 |
| | GL-20.5~21.0m | 28.8 | 40.1 |
| | GL-25.5~26.0m | - | 36.6 |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | 36.3 |
| | GL-30.5~31.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 21 ブロバ変電所引込み送電ルート上の比重（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D854 | |
|--------|---------------|----------------|----------------|
| | | 平均比重 | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 2.595 | 2.650 |
| | GL-10.5~11.0m | 2.636 | 2.649 |
| | GL-15.5~16.0m | 2.599 | 2.637 |
| | GL-20.5~21.0m | 2.749 | 2.684 |
| | GL-25.5~26.0m | - | 2.693 |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | 2.592 |
| | GL-30.5~31.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 22 ブロバ変電所引込み送電ルート上の湿潤密度（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D2937 | |
|--------|---------------|--------------------------|----------------|
| | | 湿潤密度(Mg/m ³) | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 1.89 | 1.92 |
| | GL-10.5~11.0m | 2.00 | 1.83 |
| | GL-15.5~16.0m | 1.86 | 1.86 |
| | GL-20.5~21.0m | 1.94 | 1.88 |
| | GL-25.5~26.0m | - | 1.93 |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | 1.93 |
| | GL-30.5~31.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表 5-2. 23 ブロバ変電所引込み送電ルート上の一軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D2166 | |
|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | | 粘着力 Cu (kPa) | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-1.5~2.0m | - | 44 |
| | GL-3.0~4.0m | - | - |
| | GL-5.5~6.0m | 23.4 | - |
| | GL-7.5~8.0m | - | 35 |
| | GL-10.5~11.0m | 14 | - |
| | GL-11.5~12.0m | - | - |
| | GL-15.5~16.0m | 26 | - |
| | GL-18.5~19.0m | - | 31 |
| | GL-19.5~20.0m | - | - |
| | GL-23.5~24.0m | - | - |
| | GL-24.5~25.0m | - | - |
| | GL-25.5~26.0m | - | 44 |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | 24 |
| GL-30.5~31.0m | - | - | |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表 5-2. 24 ブロバ変電所引込み送電ルート上の三軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D2850 と D4767 | |
|--------|---------------|--------------------|----------------|
| | | 粘着力 Cu (kPa) | |
| ボーリング孔 | | 132 kV 側 (BH1) | 220 kV 側 (BH3) |
| 深さ (m) | GL-5.5~6.0m | 68 | 118 |
| | GL-10.5~11.0m | 28 | 73 |
| | GL-15.5~16.0m | 31 | 55 |
| | GL-20.5~21.0m | 74 | 51 |
| | GL-25.5~26.0m | - | - |
| | GL-28.5~29.0m | - | - |
| | GL-29.5~30.0m | - | - |
| | GL-30.5~31.0m | - | - |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表 5-2. 25 ブロバ変電所引込み送電ルート上の圧密試験（室内試験結果より算定）

| Borehole No.: | Depth (m) | Pre-Consolidation pressure (kN/m ²) | Overburden Pressure (kN/m ²) | Compression Index, C _c | Coefficient of Volume Compressibility M _v (m ² /MN) | | | Coefficient of Consolidation C _v (cm ² /sec) | | | Permeability, k (m/s) ×10 ⁹ | | |
|---------------|-----------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------|-------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------|-------|-------|
| | | | | | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave |
| | | | | | BH 01 | 5.5-6.0 | 200.0 | 101.9231 | 0.106 | 0.054 | 0.218 | 0.122 | 0.005 |
| 10.5-11.0 | 210.0 | 206.4796 | 0.123 | 0.048 | | 0.428 | 0.211 | 0.004 | 0.01 | 0.006 | 0.309 | 1.888 | 1.190 |
| 15.5-16.0 | 282.11 | 282.1073 | 0.077 | 0.018 | | 0.334 | 0.150 | 0.002 | 0.020 | 0.013 | 0.035 | 6.712 | 2.547 |
| 20.5-21.0 | 390.6 | 390.6 | 0.153 | 0.056 | | 0.123 | 0.079 | 0.001 | 0.003 | 0.002 | 0.108 | 0.225 | 0.169 |
| BH 03 | 5.5-6.0 | 200.0 | 103.484 | 0.075 | 0.036 | 0.095 | 0.060 | 0.0012 | 0.0015 | 0.0014 | 0.050 | 0.137 | 0.083 |
| | 10.5-11.0 | 205.0 | 188.0236 | 0.077 | 0.028 | 0.186 | 0.098 | 0.009 | 0.022 | 0.017 | 0.238 | 4.018 | 1.915 |
| | 15.5-16.0 | 283.3 | 283.3 | 0.103 | 0.042 | 0.306 | 0.145 | 0.016 | 0.021 | 0.017 | 0.852 | 4.730 | 2.301 |
| | 20.5-21.0 | 377.7 | 377.7 | 0.159 | 0.056 | 0.356 | 0.173 | 0.012 | 0.020 | 0.016 | 0.638 | 5.764 | 2.740 |
| | 25.5-26.0 | 483.1 | 483.1 | 0.212 | 0.079 | 0.251 | 0.135 | 0.004 | 0.007 | 0.006 | 0.490 | 0.913 | 0.671 |
| 29.5-30.0 | 558.5 | 558.5 | 0.114 | 0.055 | 0.092 | 0.075 | 0.006 | 0.016 | 0.010 | 0.422 | 1.064 | 0.732 | |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

2) カワラ変電所

カワラ変電所に関しては、既存の変電所敷地内において、既存の設備、建屋を撤去のうえ、ガス絶縁開閉装置を活用した大容量の変電所を計画している。同変電所の系統と

の連系を T 分岐からオープンパイ接続に変更する方針である。これに伴い、既存の 1 回線引込みを 2 回線引込みに増強する必要があるが、架空線 2 回線分の用地が確保できないため、亘長 50 m 程度の埋設線で計画する。変電所敷地とケーブルピットルート場所が隣接しているため、標準貫入試験及び室内試験用資料のサンプリングは、変電所計画用地内で 1 箇所調査を行った。標準貫入試験及び室内試験の結果は、添付資料－9「地質調査結果」の巻頭表 2－1 から表 2－8 に示す。

標準貫入試験の結果、表層から 2.0 m 付近は砂礫層、その後 11.0 m 付近まで砂質粘土層、15.0 m 付近までが粘土質砂層、28 m 付近までが砂質シルト層と続き、それ以降 30.5 m 付近までは軟岩となっている。

「平成 13 年国土交通省告示第 1113 号」に準拠して前述の式をもとに、室内試験の三軸圧縮試験結果等から算定した各層の許容支持力を表 5－2. 26 に示す。同表に示すように、算定した結果、基礎床板付近と想定される GL-3.0m 位置で 400 kPa (BH01) 程度が確保されている。

表 5－2. 26 カワラ変電所敷地内の地耐力 (室内試験結果より算定)

| 試験方法 | | 平成 13 年国土交通省告示第 1113 号 |
|--------|---------------|------------------------|
| | | 許容支持力 q_a (kPa) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-1.0~5.0m | 400 |
| | GL-5.0~10.0m | 390 |
| | GL-10.0~15.0m | 230 |
| | GL-15.0~20.0m | 430 |
| | GL-20.0~25.0m | 530 |
| | GL-25.0~30.0m | 570 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書 (添付資料－9)

また、圧密沈下量は、室内試験の圧縮試験及び圧密試験結果等を基礎データとし、前述の式から算定される。算定された即時圧密沈下、一次圧密沈下、二次圧密沈下 (25 年・50 年) を表 5－2. 27 に示す。同表の結果を踏まえ、べた基礎とする場合、300 mm 程度の沈下量を考慮する。確認された沈下量としては、「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)」に示されている最大値の 300 mm と同等の数値になっており、構築の GF レベルを上げれば問題ないと判断される。以上の結果から、カワラ変電所敷地内と周辺に関しては、一般的なべた基礎を採用して施設計画を行う方針とする。

表 5－2. 27 カワラ変電所敷地内の圧密沈下量 (室内試験結果より算定)

| 項目 | BH1 |
|-------------------------------|-------|
| 一次圧密に要する時(年) | 13.5 |
| 200 kPa からの一次圧密沈下量 (mm) | 247.5 |
| 200 kPa からの即時圧密沈下量(mm) | 34 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 25 年間 | 9 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 50 年間 | 19 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 25 年間 | 290 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 50 年間 | 300 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書 (添付資料－9)

カワラ変電所敷地内の室内試験結果を下記の表 5－2. 28～表 5－2. 35 に示す。

表5-2. 28 カワラ変電所敷地内の含水量（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4959 |
|-----------|-----------|---------------------|
| | | 含水量 (%) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-3.0 m | 26.2 |
| | GL-5.0 m | 22.0 |
| | GL-6.0 m | 22.7 |
| | GL-10.0 m | 19.0 |
| | GL-11.0 m | 21.5 |
| | GL-12.0 m | 10.9 |
| | GL-15.0 m | 19.3 |
| | GL-16.0 m | 25.8 |
| | GL-18.0 m | 24.2 |
| | GL-20.0 m | 25.8 |
| | GL-24.0 m | 22.6 |
| | GL-25.0 m | 20.7 |
| | GL-27.0 m | 22.0 |
| GL-30.0 m | 17.6 | |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 29 カワラ変電所敷地内の液性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 |
|--------|-----------|---------------------|
| | | 液性限界 (%) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-5.0 m | 53.9 |
| | GL-10.0 m | 57.7 |
| | GL-11.0 m | 57.5 |
| | GL-15.0 m | 53.2 |
| | GL-20.0 m | 57.1 |
| | GL-30.0 m | 42.1 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 30 カワラ変電所敷地内の塑性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 |
|--------|-----------|---------------------|
| | | 塑性限界(%) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-5.0 m | 26.4 |
| | GL-10.0 m | 31.6 |
| | GL-11.0 m | 29.6 |
| | GL-15.0 m | 31.3 |
| | GL-20.0 m | 35.9 |
| | GL-30.0 m | 24.1 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 31 カワラ変電所敷地内の比重（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D854 |
|--------|-----------|---------------------|
| | | 平均比重 |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-5.0 m | 2.45 |
| | GL-10.0 m | 2.48 |
| | GL-11.0 m | 2.65 |
| | GL-15.0 m | 2.61 |
| | GL-20.0 m | 2.62 |
| | GL-30.0 m | 2.55 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 32 カワラ変電所敷地内の湿潤密度（室内試験結果より算定）

| | | |
|--------|-----------|---------------------------|
| 試験方法 | | ASTM D2937 |
| | | 湿潤密度 (kg/m ³) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-5.0 m | 1903.0 |
| | GL-10.0 m | 1903.0 |
| | GL-11.0 m | 1969.6 |
| | GL-15.0 m | 1972.7 |
| | GL-20.0 m | 1856.9 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 33 カワラ変電所敷地内の一軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| | | |
|--------|-----------|---------------------|
| 試験方法 | | ASTM D2166 |
| | | 粘着力 Cu (kPa) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-5.0 m | 24 |
| | GL-10.0 m | 10 |
| | GL-11.0 m | 54 |
| | GL-15.0 m | 42.7 |
| | GL-20.0 m | 33 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 34 カワラ変電所敷地内の三軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| | | |
|--------|-----------|---------------------|
| 試験方法 | | ASTM D2166 |
| | | 粘着力 Cu (kPa) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・小鉄塔・ケーブルピット) |
| 深さ (m) | GL-5.0 m | 53 |
| | GL-10.0 m | 76 |
| | GL-15.0 m | 14 |
| | GL-20.0 m | 8 |
| | GL-25.0 m | 22 |
| | GL-30.0 m | 25 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 35 カワラ変電所敷地内の圧密試験（室内試験結果より算定）

| Sample Source | Depth (m) | Pre-Consolidation pressure (kN/m ²) | Overburden Pressure (kN/m ²) | Compression Index, C _c | Coefficient of Volume Compressibility mv (m ² /MN) | | | Coefficient of Consolidation C _v (cm ² /sec) | | | Permeability, k (m/s) x10 ⁹ | | |
|---------------|-----------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------|----------|----------|
| | | | | | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave |
| BH 1 | 5 | 150 | 92.2 | 0.195 | 0.072 | 4.057 | 0.8934 | 0.0010 | 0.0036 | 0.0018 | 7E-11 | 1.5E-09 | 2.83E-09 |
| | 10 | 180 | 172.1 | 0.201 | 0.070 | 1.846 | 0.502 | 0.0011 | 0.0042 | 0.0028 | 7.6E-11 | 6.5E-09 | 1.67E-09 |
| | 15 | | 276.6 | 0.036 | 0.020 | 0.16 | 0.074 | 0.0032 | 0.0154 | 0.0083 | 1.12E-09 | 2.25E-09 | 9.25E-10 |
| | 20 | | 368.8 | 0.029 | 0.016 | 0.16 | 0.07 | 0.0026 | 0.0081 | 0.0049 | 4.2E-09 | 1.12E-09 | 4.88E-10 |
| | 30 | | 553.2 | 0.037 | 0.030 | 0.098 | 0.053 | 0.0020 | 0.0055 | 0.0035 | 8.76E-11 | 1.97E-10 | 1.5E-10 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

3) 新ムコノ変電所

220 / 132 kV 新ムコノ変電所に関しては、中国輸出入銀行の支援により既に用地取得手続きが進められている132 / 33 kV ムコノ変電所用地の空用地を変電所用地として計画している。同変電所は系統とダブルパイ接続を計画しているため、220 kV 送電線の引込みに関しては、架空線4回線を中国輸出入銀行支援のムコノ変電所の132 kV 引込み送電

線と平行に亘長 4 km 程度の架空線で計画する。プロバ変電所と異なり、送電ルート上に湿地等が確認されなかったため、概略設計にあつたては、変電所用地内で 1 箇所実施する方針とした。標準貫入試験及び室内試験の結果は、添付資料－9「地質調査結果」の巻頭 表 3－1 から表 3－8 に示す。

標準貫入試験の結果、表層から 9.0m 付近まで砂質シルト層、その後 18.0m 付近までが礫混じり砂層、28.5m 付近までがシルト質粘土層となっている。

「平成 13 年国土交通省告示第 1113 号」に準拠して前述の式をもとに、室内試験の三軸圧縮試験結果等から算定した各層の許容支持力を表 5－2. 36 に示す。同表に示すように、算定した結果、基礎床板付近と想定される GL-3.0m 位置で 105 kPa (BH01) 程度が確保されている。

表 5－2. 36 新ムコノ変電所敷地内の地耐力 (BH01)

| 試験方法 | | 平成 13 年国土交通省告示第 1113 号 | |
|--------|--------------|------------------------|-----|
| | | 許容支持力 q_a (kPa) | |
| ボーリング孔 | | BH1 | |
| | | 建屋 | 鉄塔 |
| 深さ (m) | GL-1.0~4.5m | 105 | 115 |
| | GL-4.5~6.0m | 130 | 140 |
| | GL-6.0~10.5m | 260 | 275 |

〔出所〕再委託業者からの地質調査報告書 (添付資料－9)

また、圧密沈下量は、室内試験の圧縮試験及び圧密試験結果等を基礎データとし、前述の式から算定される。算定された即時圧密沈下、一次圧密沈下、二次圧密沈下 (25 年・50 年) を表 5－2. 37 に示す。同表に示すように、プロバ及びカワラの沈下量より少なく、ベタ基礎とする場合で 167 mm 程度の沈下量を考慮する。確認された沈下量としては、「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)」に基づいて最大値の 300 mm と同等の数値になっており、構築物の GF レベルを上げれば問題ないと判断される。以上の結果から、新ムコノ変電所に関しては、一般的なべた基礎を採用して施設計画を行う方針とする。

表 5－2. 37 新ムコノ変電所敷地内の圧密沈下量 (室内試験結果より算定)

| 項目 | BH1 |
|-------------------------------|------|
| 一次圧密に要する時(年) | 13.5 |
| 200 kPa からの一次圧密沈下量 (mm) | 126 |
| 200 kPa からの即時圧密沈下量(mm) | 20 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 25 年間 | 12 |
| 200 kPa からの二次圧密沈下量 (mm) 50 年間 | 21 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 25 年間 | 158 |
| 200 kPa からの合計圧密沈下量 (mm) 50 年間 | 167 |

〔出所〕再委託業者からの地質調査報告書 (添付資料－9)

新ムコノ変電所敷地内の室内試験結果を下記の表 5－2. 38～表 5－2. 45 に示す。

表5-2. 38 新ムコノ変電所敷地内の含水量（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4959 |
|-----------|-----------|------------|
| | | 含水量 (%) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-1.5 m | 27.7 |
| | GL-3.0 m | 26.8 |
| | GL-4.5 m | 30.7 |
| | GL-6.0 m | 30.9 |
| | GL-7.5 m | 13.2 |
| | GL-9.0 m | 15.5 |
| | GL-10.5 m | 22.4 |
| | GL-12.0 m | 5.5 |
| | GL-13.5 m | 11.3 |
| | GL-15.0 m | 9.3 |
| | GL-16.5 m | 16.1 |
| | GL-18.0 m | 9.4 |
| | GL-19.5 m | 17.9 |
| | GL-27.0 m | 19.5 |
| GL-28.5 m | 22.2 | |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 39 新ムコノ変電所敷地内の液性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 |
|--------|-----------|------------|
| | | 液性限界 (%) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-4.5 m | 51.8 |
| | GL-6.0 m | 45.8 |
| | GL-10.5 m | 41.2 |
| | GL-28.5 m | 35.3 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 40 新ムコノ変電所敷地内の塑性限界（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D4318 |
|--------|-----------|------------|
| | | 塑性限界 (%) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-4.5 m | 30.3 |
| | GL-6.0 m | 28.3 |
| | GL-10.5 m | 30.5 |
| | GL-28.5 m | 25.7 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 41 新ムコノ変電所敷地内の比重（室内試験結果より算定）

| 試験方法 | | ASTM D854 |
|--------|-----------|------------|
| | | 平均比重 |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-4.5 m | 2.573 |
| | GL-6.0 m | 2.571 |
| | GL-10.5 m | 2.704 |
| | GL-28.5 m | 2.722 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 42 新ムコノ変電所敷地内の湿潤密度（室内試験結果より算定）

| | | |
|--------|-----------|---------------------------|
| 試験方法 | | ASTM D2937 |
| | | 湿潤密度 (kg/m ³) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-4.5 m | 1900 |
| | GL-6.0 m | 1867 |
| | GL-10.5 m | 1698 |
| | GL-28.5 m | 1929 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 43 新ムコノ変電所敷地内の一軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| | | |
|--------|-----------|--------------|
| 試験方法 | | ASTM D2166 |
| | | 粘着力 Cu (kPa) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-4.5 m | 19 |
| | GL-6.0 m | 7 |
| | GL-10.5 m | 40 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 44 新ムコノ変電所敷地内の三軸圧縮試験（室内試験結果より算定）

| | | |
|--------|-----------|--------------|
| 試験方法 | | ASTM D2166 |
| | | 粘着力 Cu (kPa) |
| ボーリング孔 | | BH1(建屋・鉄塔) |
| 深さ (m) | GL-4.5 m | 43 |
| | GL-6.0 m | 54 |
| | GL-10.5 m | 71 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

表5-2. 45 新ムコノ変電所敷地内の圧密試験（室内試験結果より算定）

| Borehole No.: | Depth (m) | Pre-Consolidation pressure (kN/m ²) | Overburden Pressure (kN/m ²) | Compression Index, C _c | Coefficient of Volume Compressibility M _v (m ² /MN) | | | Coefficient of Consolidation C _v (cm ² /sec) | | | Permeability, k (m/s) x10 ⁻⁹ | | |
|---------------|-----------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-----------------------------------------|--------|--------|
| | | | | | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave | Min | Max | Ave |
| | | | | | BH 01 | 4.5 | 140.0 | 83.86 | 0.197 | 0.070 | 0.3219 | 0.1617 | 0.0001 |
| 6.0 | 200.0 | 109.90 | 0.104 | 0.053 | | 0.179 | 0.099 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.091 | 0.185 | 0.120 |
| 10.5 | 220.00 | 174.94 | 0.137 | 0.062 | | 0.297 | 0.162 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.105 | 0.396 | 0.241 |
| 28.5 | 539.4 | 539.4 | 0.061 | 0.031 | | 0.135 | 0.085 | 0.003 | 0.006 | 0.004 | 0.096 | 0.403 | 0.281 |

[出所] 再委託業者からの地質調査報告書（添付資料-9）

(7) 地形測量

本事業コンポーネントである 220 / 132 kV 新ムコノ変電所及びプロバ変電所新設、関連送電線据付、並びに、カワラ変電所への 132 kV 埋設線据付に関しては、用地取得、一部住民移転が発生するため、計画対象サイトへのアクセスルートも含め、簡易住民移転計画の作成が必要である。住民移転計画に関しては、送電ルート上及び変電所用地に対する所有者及び構造物位置確認図（Strip Map）に基づく調査が不可欠である。この基礎資料として測量図が必要となるため、上記コンポーネントの対象地周辺状況を踏まえ、自然条件調査の一環として以下の仕様で測量を実施した。

また、プロバ変電所に関しては、サイト状況踏査において傾斜が大きいことが確認され、造成工事に大規模な擁壁工事が必要となり、本計画の供用開始の目標年次である 2020 年に完工が間に合わないことも想定されたため、測量結果をもとに目標年次までに

完工できる造成工法を検討する方針とする。

なお、再委託を行った測量図については、添付資料－ 8 に示す。

1) カワラ変電所

カワラ変電所の引込みケーブルルート（亘長 50 m 程度）に関しては、区間も短いことに加え、周辺に家屋等が密集しており、それらに位置を確認するため 5 m 間隔で実施した。

2) ブロバ変電所

ブロバ変電所周辺には、高低差が大きく、一部、家屋等も確認され計画対象範囲とそれらの位置関係を確認するため、計画対象範囲内で 5 m 間隔（220 kV 及び 132 kV それぞれ亘長 900 m 程度）で実施した。

3) 新ムコノ変電所

新ムコノ変電所については、ルート上に構造物がほとんど確認されなかったため亘長も他と比較して長いことから 30 m 間隔（亘長 5 km 程度）で実施した。

一般に採用されている送電線ルート調査・設計の手順を表 5－ 2. 4 6 に示す。本事業準備調査では、フィージビリティスタディという側面を踏まえ、同表の項目 1 から 3 までを行う。

表 5－ 2. 4 6 送電線路設計方針

| 番号 | 内容 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | ルートゾーン設定 ➤ 自然環境保関連法等の諸法規を踏まえ、必要な情報の収集を行う。(机上調査) |
| 2 | 概略ルート選定 ➤ 土地利用・自然環境・生物等に関する情報収集及び重要地点の現地踏査の実施。 ➤ 地形・地質及び施工条件を考慮の上で鉄塔位置を決め、概略縦断図を作成して縦断検討を行う。 |
| 3 | 複数ルートの検討及び概略ルート絞込 ➤ 候補ルートに関して送電設備の概略設計を行う。 |
| 4 | 基本ルート選定 ➤ 平面図に他工作物、主要河川、道路、既設送電線などを記入する。 ➤ 航空測量により、平面・縦断図を作成する。さらに、最適縦断設計を行う。 |
| 5 | 詳細ルート選定 ➤ 基本ルート上の鉄塔予定地点に係る現地情報を踏査で得る。更に中心横断測量と下線縦断測量を行う。 |

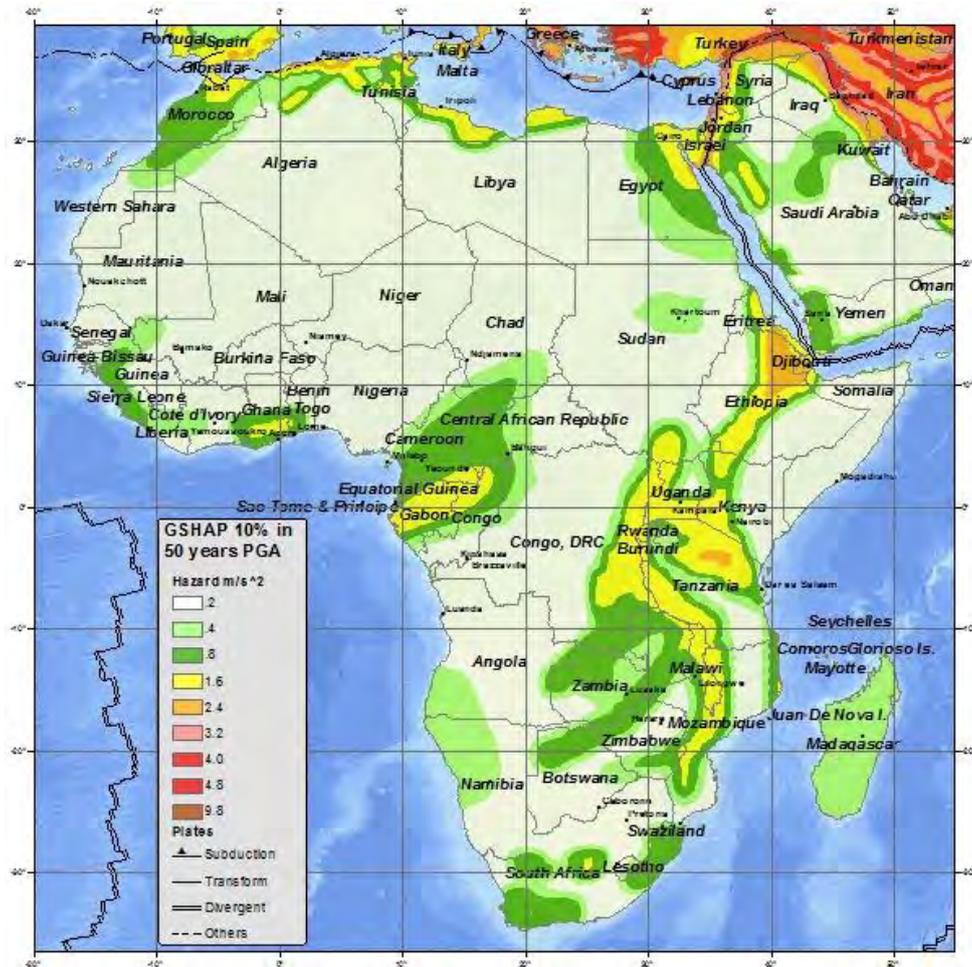
[出典] 平成 25 年度再生可能エネルギー導入拡大に向けた系統設備等調査事業（環境省）(URL : <http://www.env.go.jp/earth/report/h27-02/index.html>) の情報に基づき JICA 調査団作成

「概略ルートの選定」では、標高データにより地形起伏・傾斜度を平面図上で検討する必要がある。本準備調査にて実施した地形測量（5 m 間隔）結果より、220 kV 送電ルート上において、問題及び要検討となる断層、地すべり・崩壊地形、角度 10° を超える傾斜は確認されなかった。次に同測量結果から縦断図（横断図を含む）を作成し、電線横振れ時も含め、地表面や樹木などと所定の離隔距離を保ち、電鉄塔の位置・高さ・碍子つり形を決定して、概略ルートを選定した。新ムコノ変電所における 220 kV 送電線ルートの縦断図を添付資料－ 1 0 に示す。同図より、220 kV 送電線路上には起

伏及び傾斜が認められたが、最下相と大地間の絶縁距離（クリアランス）は確保されることが確認された。

(8) 地震

最近でも 1996 年に地震があったことが UETCL より報告されている。図 5-2. 1 にアフリカ大陸の地震危険度マップを示す。



[備考]

- ・GSHAP: Global Seismic Hazard Assessment Program
- ・PGA: Peak Ground Acceleration(最大地動加速度) ($1g=9.81 \text{ m/s}^2=981\text{Gal}$)
- ・日本の震度 7 は 4 m/s^2 ($0.41g$)以上に想定する。

[出所] Home Page of U.S. Geological Survey

図 5-2. 1 アフリカ大陸地震危険度マップ

5-3 概略設計

5-3-1 変電計画

本プロジェクトで実施するカンパラ首都圏における変電所対象コンポーネントの概要を以下に示す。

(1) ブロバ変電所新設

カンパラ首都圏中心部より約 25 km 西部に位置するブロバ地区に電圧階級 220 / 132 / 33 kV を有するブロバ変電所を新設することにより、カンパラ首都圏への電力供給の安定化に資することを目的としている。更に、今後需要の拡大が予測される西部及び現在ムトゥンドウエ変電所より 33 kV 配電網にて供給されているマサカ地区、ムピギ地区、センテマ地区、さらにはカンパラ首都圏より 60 km 離れているミティアナ地区までの範囲一帯への配電の安定化を図る。表 5-3-1. 1 にブロバ変電所の主要データを示す。220 kV 引込回線は、現在世界銀行の借款事業により建設が進められているカワンダ変電所-マサカ変電所間 220 kV 送電線 (2 回線) をダブルパイ方式 (4 回線) で引き込む。さらに 132 kV 引込回線を既設のムトゥンドウエ変電所-カブラソケ変電所間の送電線 (1 回線) からパイ引き込みする。

表 5-3-1. 1 ブロバ変電所の主要データ

| 主仕様 | 数量 |
|--------------------------|--------|
| 220 kV 引込回線 | 4 フィーダ |
| 220/132 kV 変圧器 (125 MVA) | 2 台 |
| 132 kV 引込回線 | 2 フィーダ |
| 132/33 kV 変圧器 (40 MVA) | 2 台 |
| 33 kV 引出回線 | 7 フィーダ |

[出所] JICA 調査団

33 kV 配電線整備は本事業の対象外とし、ウガンダ側にて実施及び計画される。当該 33 kV 配電線整備は既設の配電網を最大限活用する事により、新たな工事を最小限に抑える形での新設及び改修を行うよう配慮される。そのため、当該変電所においては既設の 33 kV 配電線 (ミティアナ地区-ムトゥンドウエ変電所間) が存在するため、同配電線をパイ引込する工事を行い、一度当該変電所に引き込むことが工事实現の面からも妥当と評価される。同様に、マサカ地区-ムトゥンドウエ変電所間の 33 kV 配電線についても同様の方法で引き込むことが妥当であると考えられる。一方、センテマ地区への配電網は新設される計画である。さらに、将来ブロバ地区での建設が予定されているオイルパイプラインターミナルへの専用線が整備される計画である。当該変電所に引き込まれる予定の 33 kV フィーダ線と、新たに必要となる線路建設距離 (案) を表 5-3-1. 2 に示す。

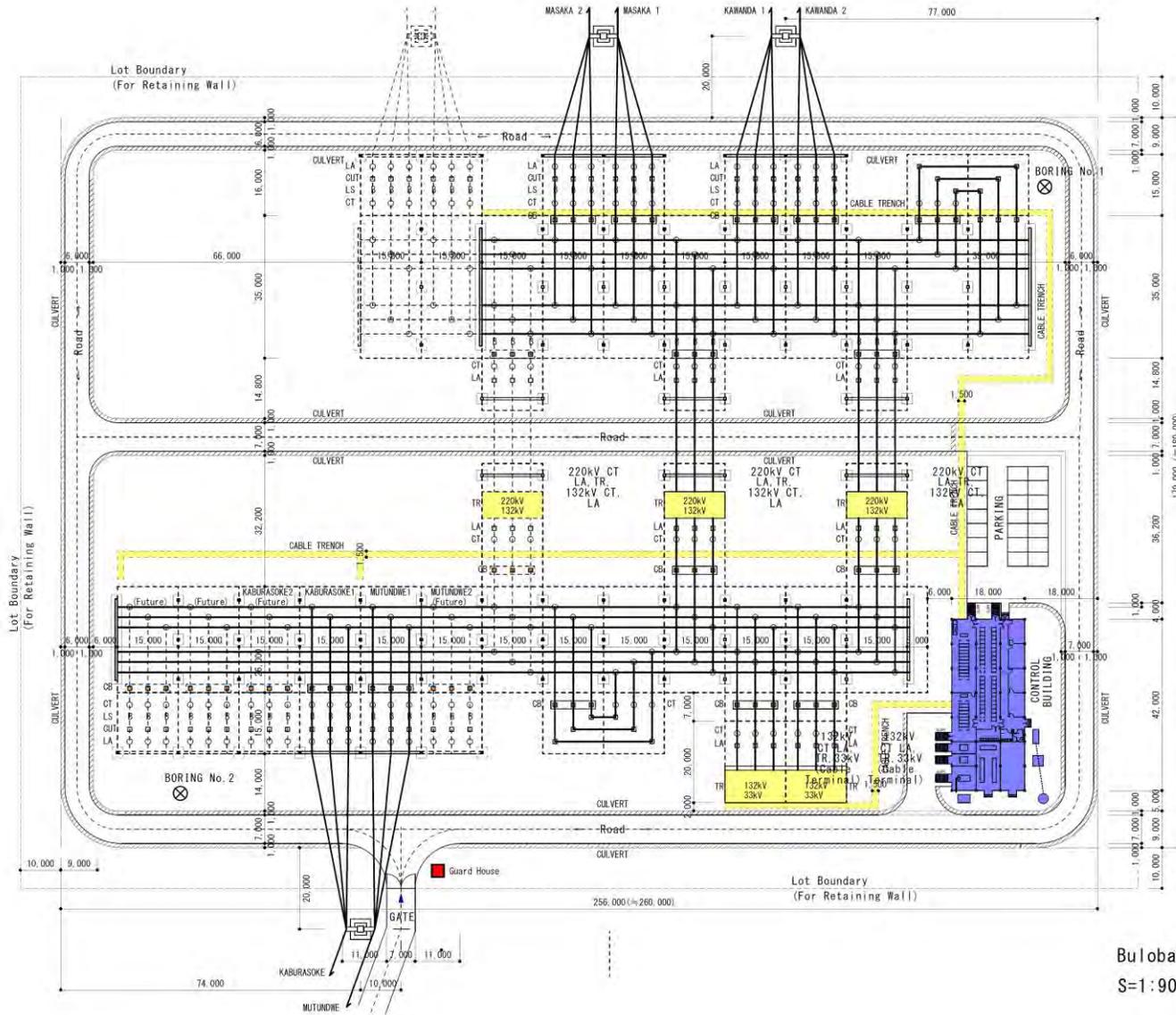
表 5-3-1. 2 33 kV 配電線フィーダと工事距離

| 番号 | フィーダ名 | 工事距離 [km] |
|----|--------------|-----------|
| 1 | ミティアナ地区 | 4.8 |
| 2 | センテマ地区 | 23 |
| 3 | マサカ地区 | 6.3 |
| 4 | オイルパイプライン専用線 | 3.0 |
| 5 | ムトゥンドウエ変電所 1 | 7.0 |
| 6 | ムトゥンドウエ変電所 2 | 7.0 |

| | | |
|---|---------|---|
| 7 | スペアフィーダ | - |
|---|---------|---|

〔出所〕ウメメ社

当該変電所周辺は、なだらかな丘陵地帯と湖沼地帯が混在する。そのため、変電所建設用地の確保は比較的容易であるため、220 kV、132 kV 共に、経済性も考慮して屋外式の気中絶縁方式が技術的に妥当と評価される。一方、33 kV 開閉装置については UETCL の標準であるガス絶縁開閉装置 (GIS) を採用することが望ましい。なお、33 kV GIS については UETCL の管轄部分とウメメ社の管轄部分を 2 つの母線で区分けすることにより、それぞれの機関が独立して電力事業を実施できるよう考慮する。図 5-3-1. 1 にプロバ変電所レイアウト (案) を示す。上段が 220 kV 複母線、下段が 132 kV 複母線という配置としている。220 kV 開閉設備スペースには 5 ベイ分の将来の母線拡張用の空きスペースを設ける。このスペースは、工事期間中のプロバ変電所用機材の仮機材置き場として使用される。



LEGEND

- Scope of the Project
- - - Future Limits

Buloba Substation Site Layout
S:1:900 (A3) 19 Jul. 2016

[備考] 単位: mm

[出所] JICA 調査団

図5-3-1. 1 プロバ変電所レイアウト (案)

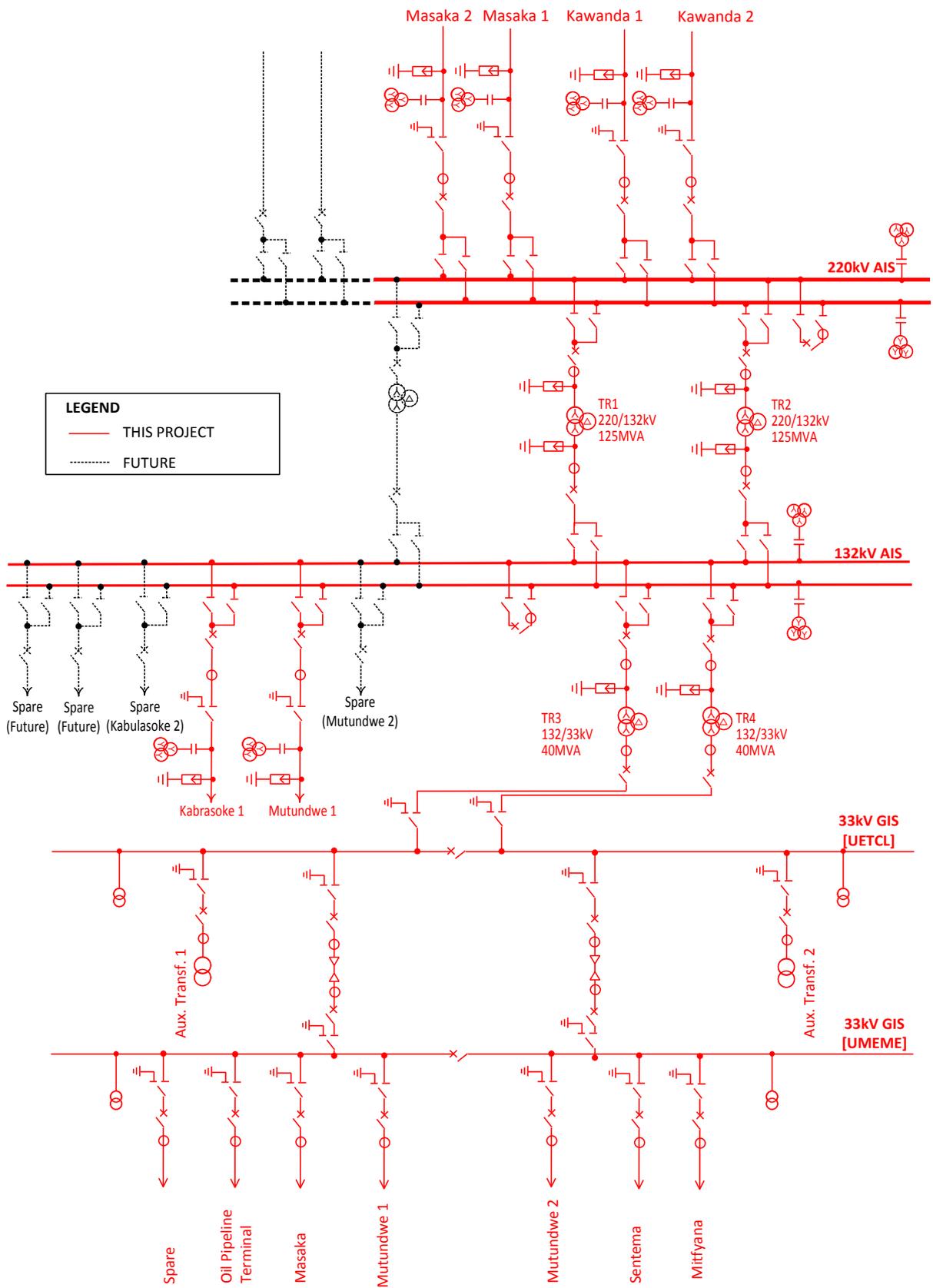


図5-3-1. 2 プロバ変電所単線結線図 (案)

ブロボ変電所周辺は勾配が大きく、土地状況によって造成工事に想定以上の長期間を要し、本事業の供用開始の目標年次である 2020 年に影響を及ぼす可能性があるため、測量図をもとに検討を行い、以下の造成工事を採用する方針とした。

ブロボ変電所用地に関しては測量結果図 5-3-1. 3 に示すように、北東側から南西側に向けて 15 m 程度の傾斜があることが確認され、20 万 m³ 程度の切土／盛土（整地レベルを高低差 15 m の中間レベルと想定）が発生することが確認された。傾斜が大きいため、法面の土砂の流出防止策として、擁壁、もしくは、蛇籠等による法面保護工事が必要である。本事業の供用開始の目標年次である 2020 年を考慮し、測量結果を踏まえ工期短縮成が図れる蛇籠による法面保護工事を採用し、事業実施工程表に反映する方針とする（擁壁の場合、配筋・型枠・コンクリート打設が必要となるため、工期が長期間となる）。

測量結果から確認された切土／盛土の規模、蛇籠による法面工事の規模から 4 か月間程度が想定されるため、事業実施工程表に反映した。なお、当該工事を実施したとしても、本計画の供用開始の目標年次である 2020 年完工に支障はないと判断される。

また、変電所用地造成に加えて当該変電所へのアクセス道路の造成を行う。アクセス道路は水平距離 200 m に対して 15 m の勾配が生じる。法面工事については変電所用地造成の場合と同様、既存のムトゥンドゥエ変電所の敷地造成などにて、当国での実績を有する蛇籠を採用する。造成工事、擁壁工事ともに、変電所用地造成工事と同時期の実施が可能であり、工期は 2 か月程度と考えられる。そのため、変電所用地造成に係る 4 か月以内に完了することが可能であるため、全体の工期に影響はない。

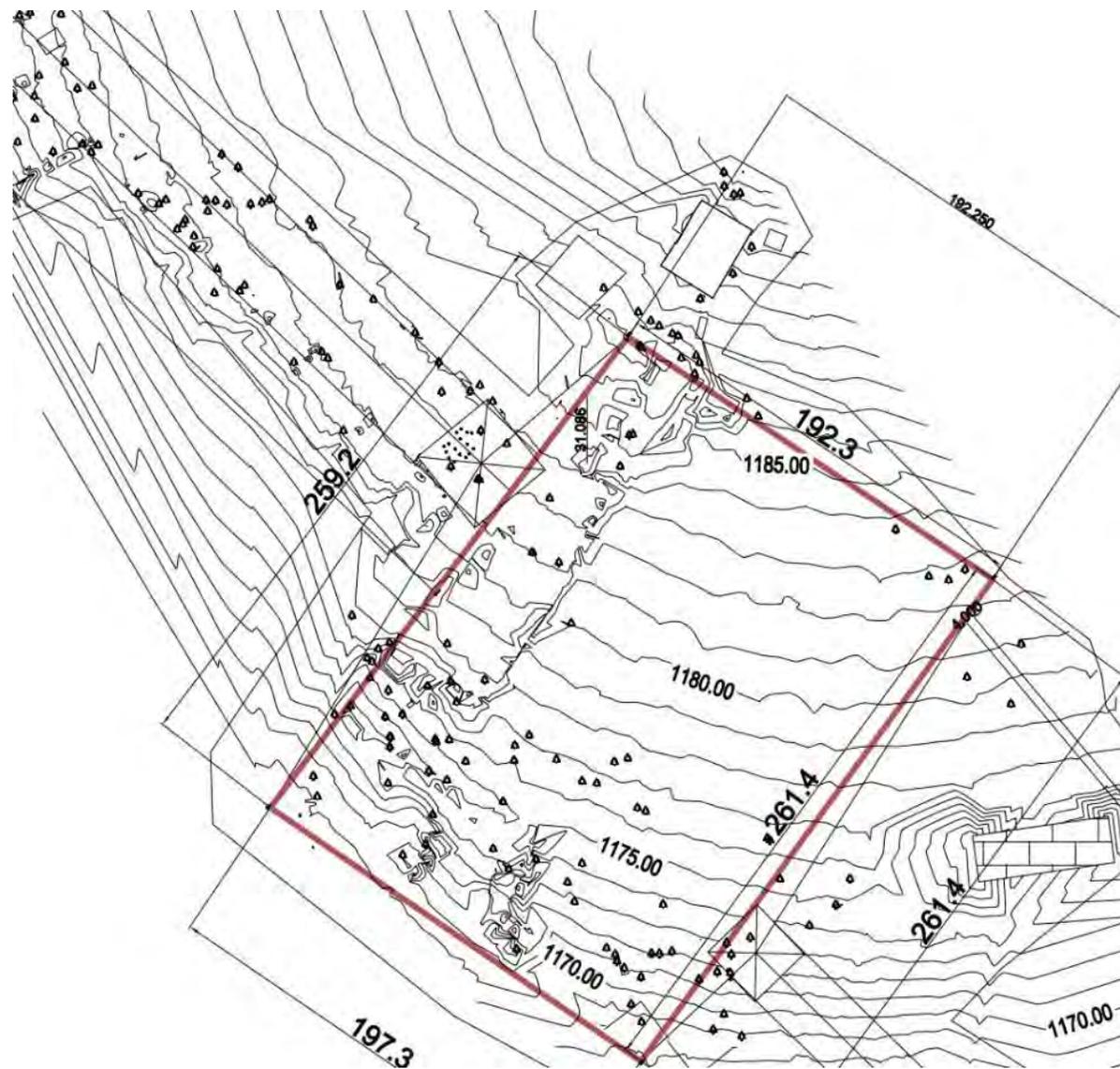


図5-3-1. 3 プロバ変電所周辺の測量図

(2) カワラ変電所改修

カンパラ首都圏内北西部に位置するカワラ変電所は、変電容量 20 MVA の 132 / 11 kV 変圧器 1 台を有し、3 フィーダにて周辺地域への配電に給している。当該変電所の配電地域における需要拡大に対応する点だけでなく、同変電所に隣接する一次変電所であるカンパラ北変電所及びムトゥンドゥエ変電所の 132 / 33 kV 変圧器の過負荷を低減するため、当該変電所から 33 kV 配電線フィーダを新設し、負荷分担を図ることで、カンパラ首都圏北地区及び西地区一帯における配電事業の安定化に資することが求められている。

当該変電所における主仕様を表 5-3-1. 3 に示す。ウメメ社からの聴取によると今後は 11 kV 配電網より 33 kV 配電網へ段階的に移行する計画である。さらに、2030 年における 11 kV 配電線の想定需要が 12 MW である点も加味した上で、132/11 kV 変圧器 1 台 (20 MVA) を据付する。

また、当該変電所における 33 kV 配電線の電力需要想定によると、2030 年には 75 MW に達する見込みとなっているため、変圧器容量 40 MVA を有する変圧器 2 台を調達することが最低限要求される。さらに、当該変電所へのアクセスルートは狭小であり、移動変電所の進入は困難である点を鑑み、1 台の変圧器 (40 MVA) をメンテナンス時などの仮設変圧器として据付し、合計の 132/33 kV 変圧器容量は 120 MVA とする計画とした。なお、対象敷地は長辺 60 m 奥行 40 m の先細り長方形形状をしており、面積約 2,400 m² と他のこの規模の変電所と比較すると狭小である。そのため、132 kV 開閉設備として、ガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear: GIS) を採用し、変圧器と当該 GIS 間は、六フッ化硫黄ガスが封入された密閉容器で直結することにより更なる省スペース化を図る。

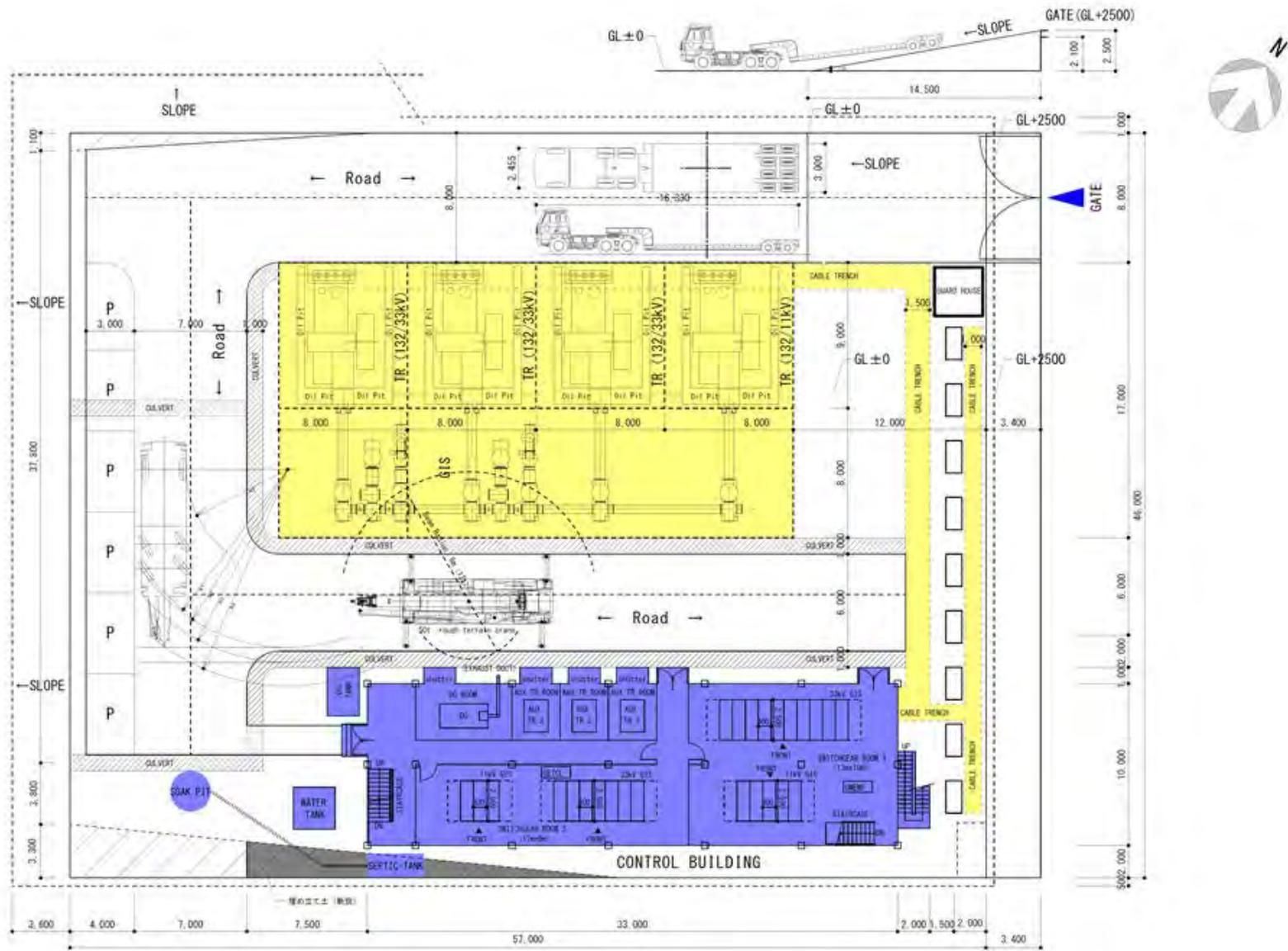
本事業後の 33 kV 引出回線は 6 回線と接続される計画である。2 回線はカンパラ北変電所 33 kV 母線と接続し、同様に他の 2 回線は予備回線としてムトゥンドゥエ変電所の 33 kV 母線に引き込まれる計画である。残りの 2 回線はカンパラ首都圏より北西方向に約 20 km 離れた点に位置するカスピ地区およびカキリ地区への新設配電線となる。

表 5-3-1. 3 カワラ変電所の主要データ (案)

| 主仕様 | 数量 |
|-------------------------|--------|
| 132 kV 引込回線 | 2 フィーダ |
| 132 / 11 kV 変圧器(20 MVA) | 1 台 |
| 132 / 33 kV 変圧器(40 MVA) | 3 台 |
| 11 kV 引出回線 | 3 フィーダ |
| 33 kV 引出回線 | 6 フィーダ |

[出所] JICA 調査団

同変電所敷地は 3 方向を住民居住区に囲まれており、配電線を拡張する方向は敷地に隣接する道路の 1 方向のみである。そのため、変電所敷地内の当該道路沿いに 33 kV 配電線用ガントリーを建設し、新設される 33 kV 配電線との接続が円滑に行われるよう配慮する。11 kV 配電網については地中ケーブルにより接続されているため、新たにガントリーを建設する必要はないと考えられる。図 5-3-1. 4 に当該変電所レイアウト (案) を示す。



[単位 : mm]
 [出所] JICA 調査団

図5-3-1. 4 カワラ変電所レイアウト (案)

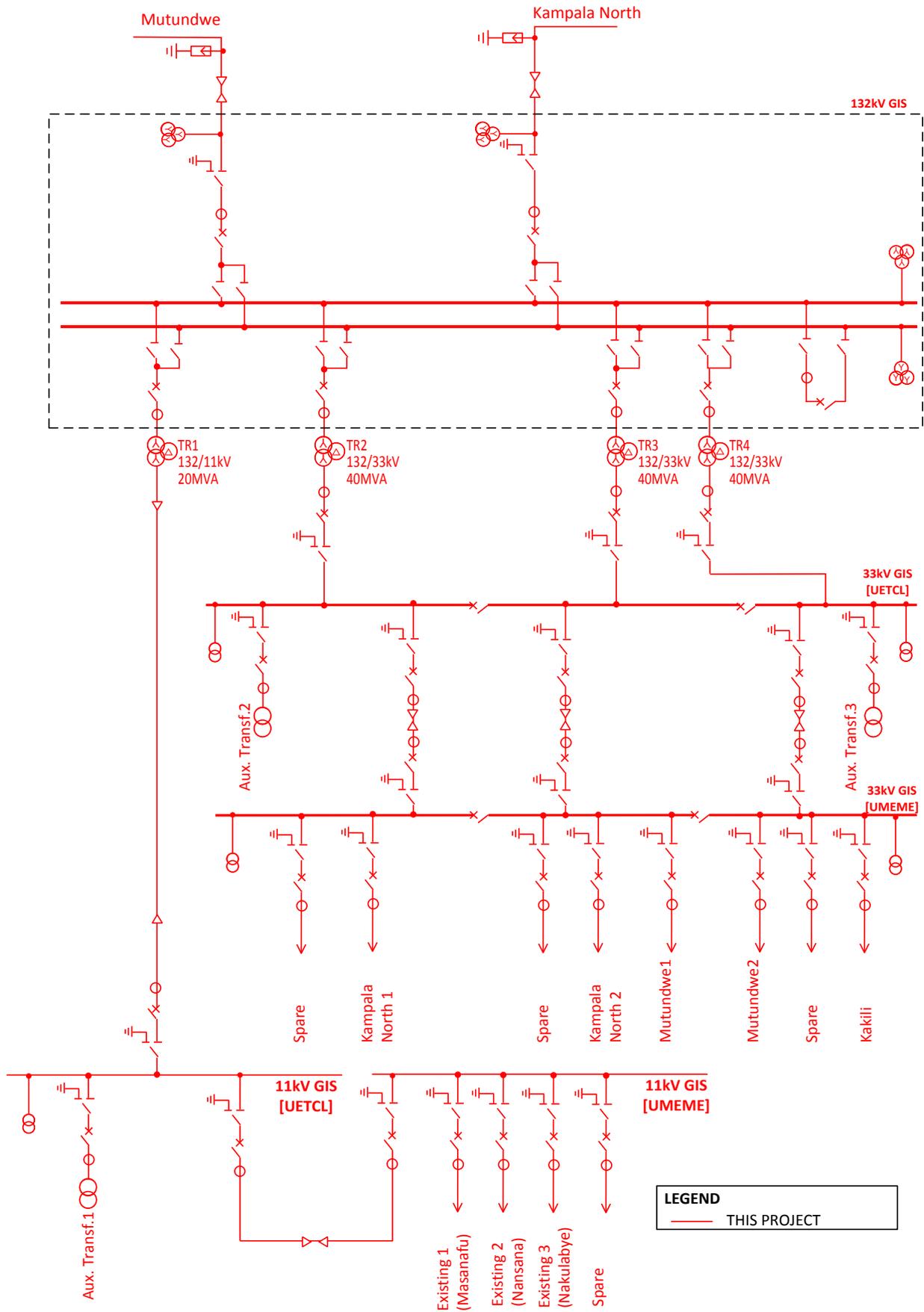


図5-3-1. 5 カワラ変電所単線結線図 (案)

(3) 新ムコノ変電所建設

UETCL は他ドナーからの支援によりカンパラ首都圏東部地域への配電能力増強を目的としてガス絶縁開閉設備を有する電圧階級 132/33 kV の送電用変電所（ナマンベ南変電所、ルジラ変電所、そしてムコノ変電所）を建設する予定であり、2017 年までの完工を予定している。これらの送電用変電所の一つであるムコノ変電所の近隣に、電圧階級 220 / 132 kV の連系変電所としての機能を有する新ムコノ変電所を建設する。ブジャガリ変電所－カワランダ変電所間の 220 kV 送電線 2 回線をパイ引込することにより 4 回線で当該変電所に引込み、132 kV に降圧した後、近接するムコノ変電所及びナルバレ変電所－ルゴゴ変電所 132 kV 南幹線 1 回線をパイ引込により 2 回線で接続する。UETCL の有する敷地広さが約 16 エーカー（約 64,000 m²）と限られている上、ムコノ変電所と共有する必要があるという立地条件の制約を考慮すると、当該変電所の敷地面積は制限される。

また、当該変電所の対象サイト周辺が、工業地域として開発が進められており、UETCL との協議結果、万一、汚染された空気環境下に置かれても十分な絶縁特性を維持するため、絶縁部が密閉容器の中に配置されたガス絶縁開閉装置を採用する方針である。中国輸出入銀行の支援のもと、UETCL が同地域周辺で進めているムコノ変電所、ナマンベ南変電所、ルジラ変電所ともガス絶縁開閉装置を採用した変電所となっている。

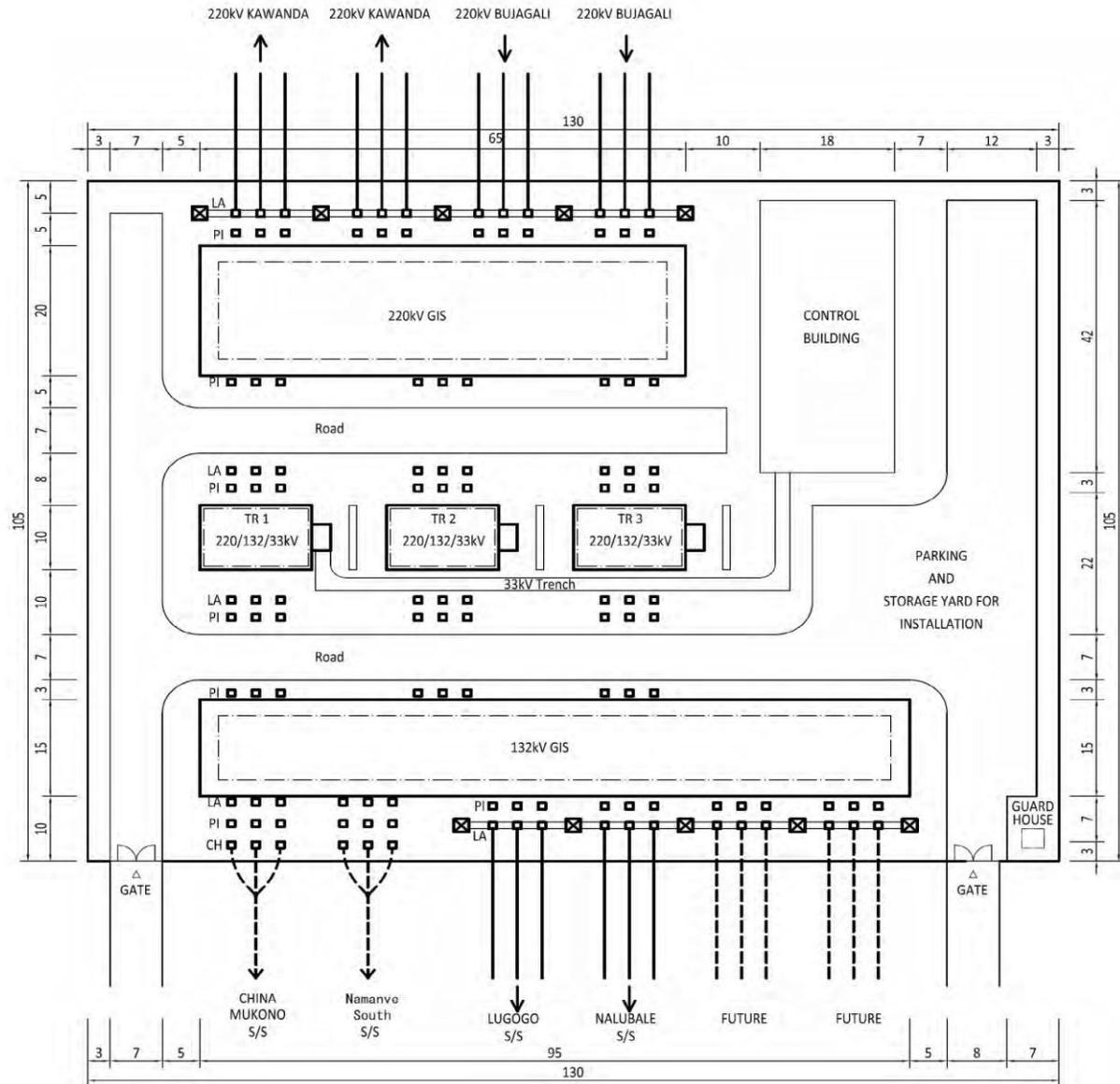
以上の点を鑑み、220 kV と 132 kV 双方の電圧階級の開閉設備とも、GIS を採用することにより、狭小な敷地による変電所の建設可能性、そして大気汚染に対する十分な耐性を有する方針とした。

表 5－3－1. 4 に当該変電所の主要データ、そして図 5－3－1. 6 にレイアウト（案）を示す。

表 5－3－1. 4 新ムコノ変電所の主要機材（案）

| 主仕様 | 数量 |
|----------------------------|--------|
| 220 kV 引込回線 | 4 フィーダ |
| 220 kV ガス絶縁開閉装置 | 7 フィーダ |
| 220/132/33 kV 変圧器(125 MVA) | 3 台 |
| 132 kV ガス絶縁開閉装置 | 9 フィーダ |
| 132 kV 引出回線（予備回線を含む） | 6 フィーダ |

[出所] JICA 調査団



[単位 : m]
 [出所] JICA 調査団

図 5-3-1. 6 新ムコノ変電所レイアウト (案)

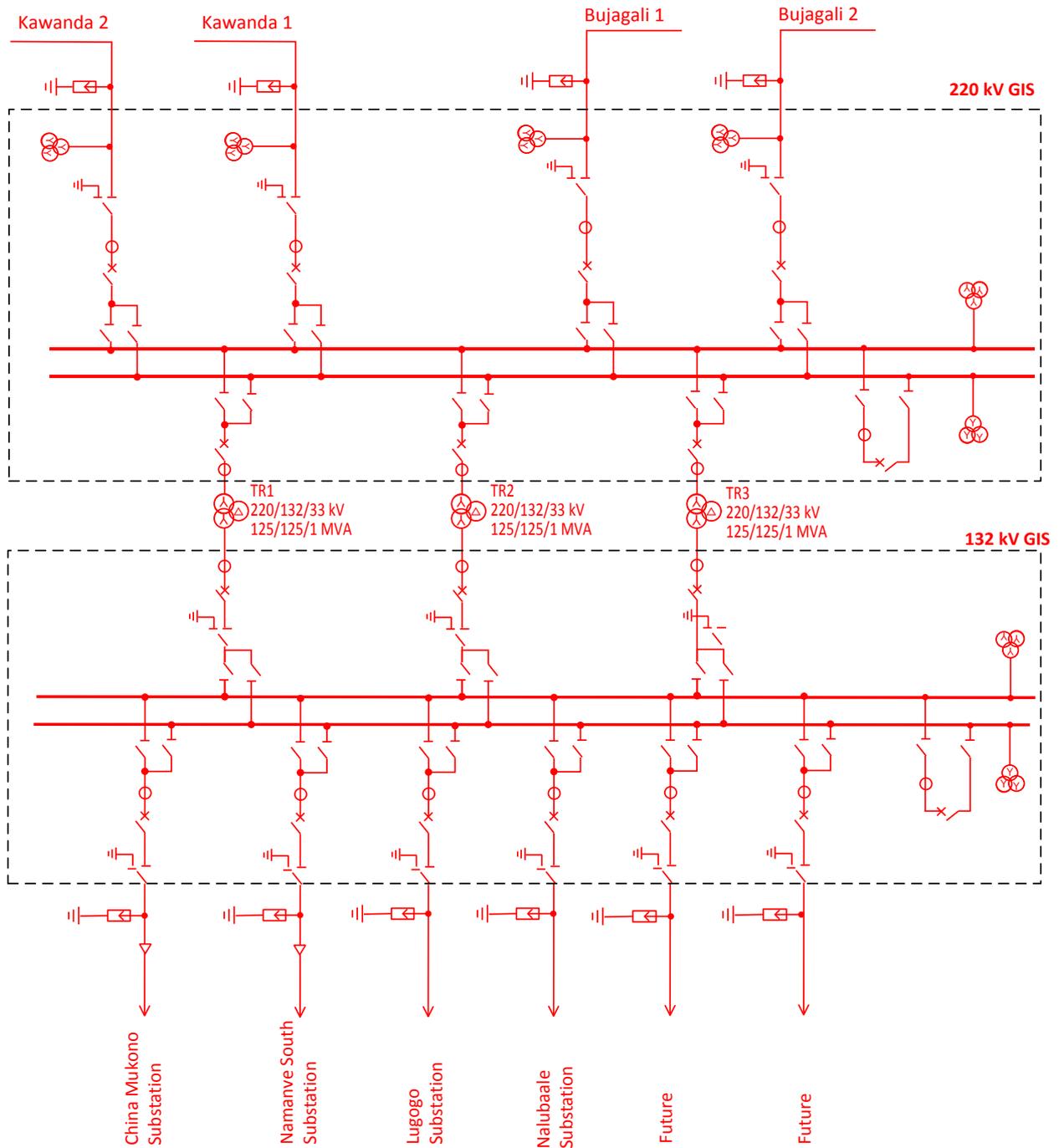


图 5-3-1.7 新ムコノ変電所単線結線図 (案)

(4) ブジャガリ変電所改修

ブジャガリ変電所はブジャガリ水力発電所敷地内の設備であり、発電電力が昇圧されて132 kV 開閉設備に接続されているほか、更に220 kV に昇圧されてカワンダ変電所・トロロ変電所・そしてイシンバ変電所への接続が計画されている連系変電設備である。現在、220/132/33 kV 変圧器（250 MVA）が2台据え付けられている。但し220 kV 開閉設備については2016年中を目途に運用開始されるべく、現在も工事が進められており132 kV 開閉設備のみが運用されている。

2030年には、2台の220/132/33 kV 変圧器（合計設備容量500 MVA）が首都圏の電力需要およびイシンバ水力発電所から132 kV 送電線にて当該変電所に給電される183 MWの電力により過負荷になるため、本計画にてさらに1台の250 MVA 変圧器を増設する計画である。

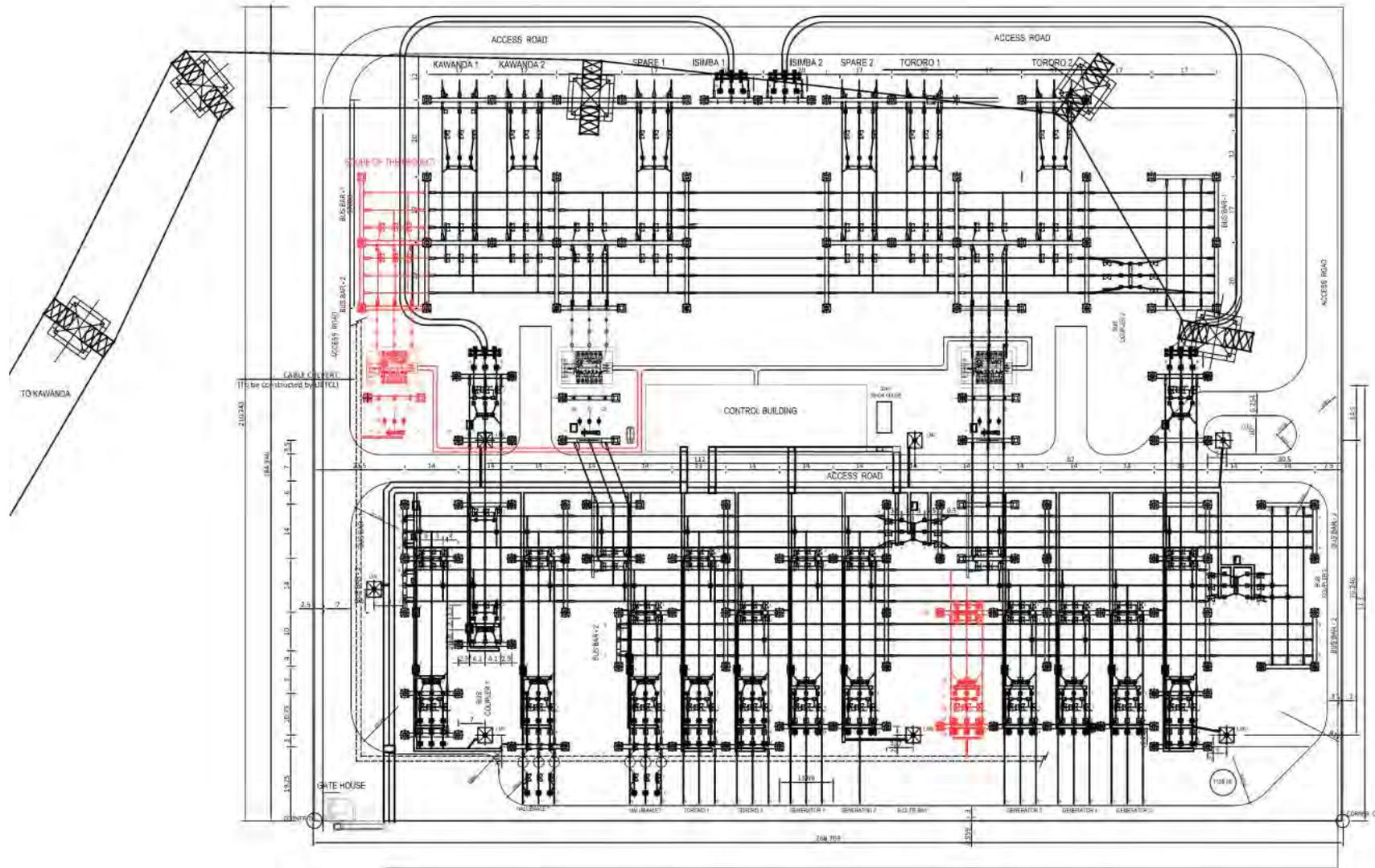
さらに、UETCLは既設220/132/33 kV 変圧器の3次巻線（変電容量50 MVA）から接続することにより当該変電所周辺への配電能力の増強を計画している。同ブジャガリ変電所敷地外ではウメメ社による配電用変電所が建設される計画となっている。この点を考慮した結果、既設変圧器と同様の仕様を有する変圧器の調達、並びに既設の33 kV 開閉設備と接続するための33 kV ガス絶縁開閉装置一式の調達をUETCL側と確認した。表5-3-1. 5に当該変電所への調達主要資材データを示す。

表5-3-1. 5 ブジャガリ変電所への調達資材

| 主仕様 | 数量 |
|-----------------------------|-------|
| 220/132/33 kV 変圧器 (250 MVA) | 1台 |
| 33 kV ガス絶縁開閉装置 (GIS) | 6フィーダ |

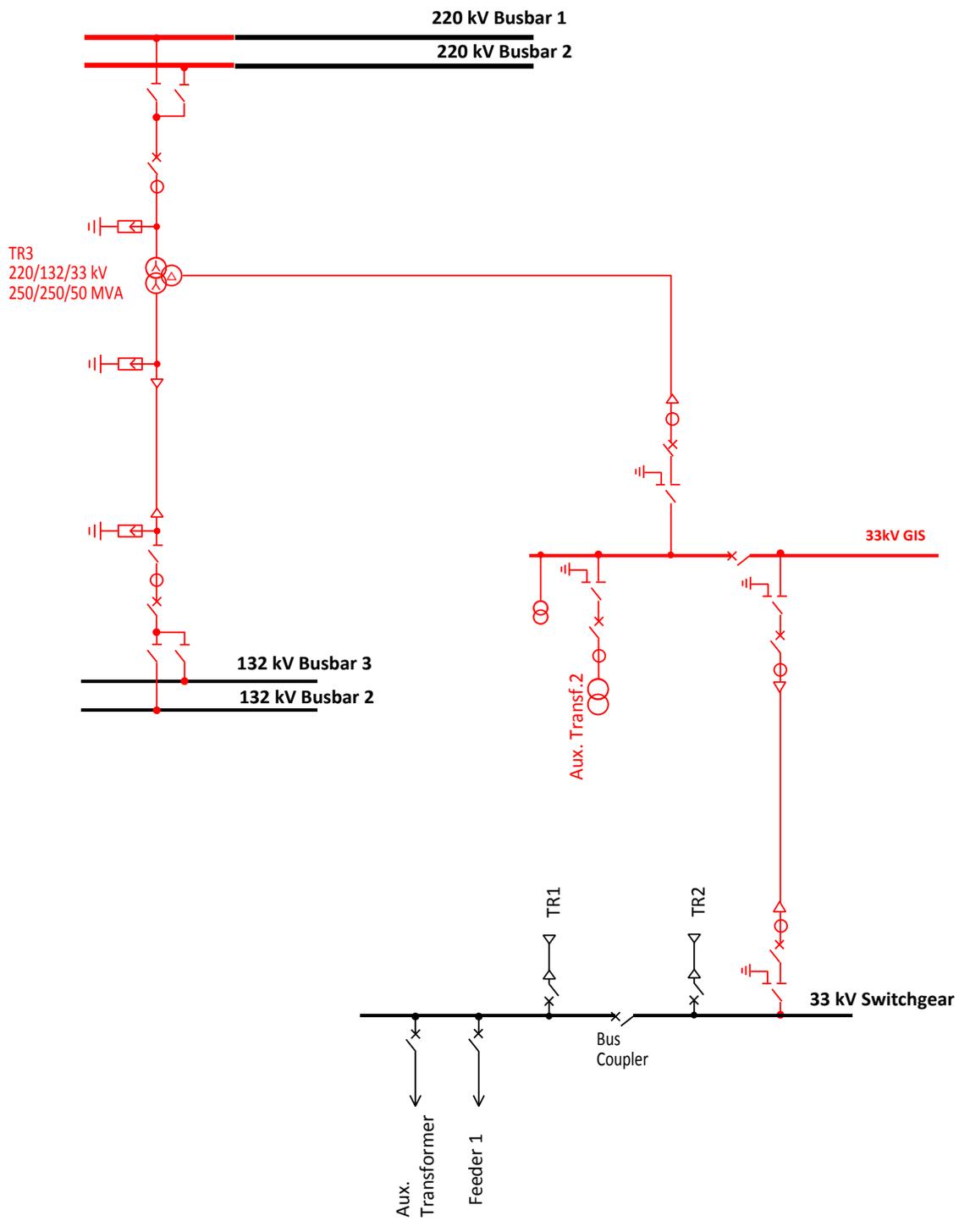
[出所] JICA 調査団

図5-3-1. 8にブジャガリ変電所におけるレイアウト案を示す。当該変電所の敷地は将来の変圧器増設スペースが計画されていないため、220 kV を1ベイ分拡張する。また、132 kV スイッチヤード側には、利用可能である空スペースにケーブルヘッドを設け、地中ケーブルにて変圧器と接続する形の設計とする。



[単位 : m]
 [出所] JICA 調査団

図5-3-1. 8 ブジャガリ変電所レイアウト (案)

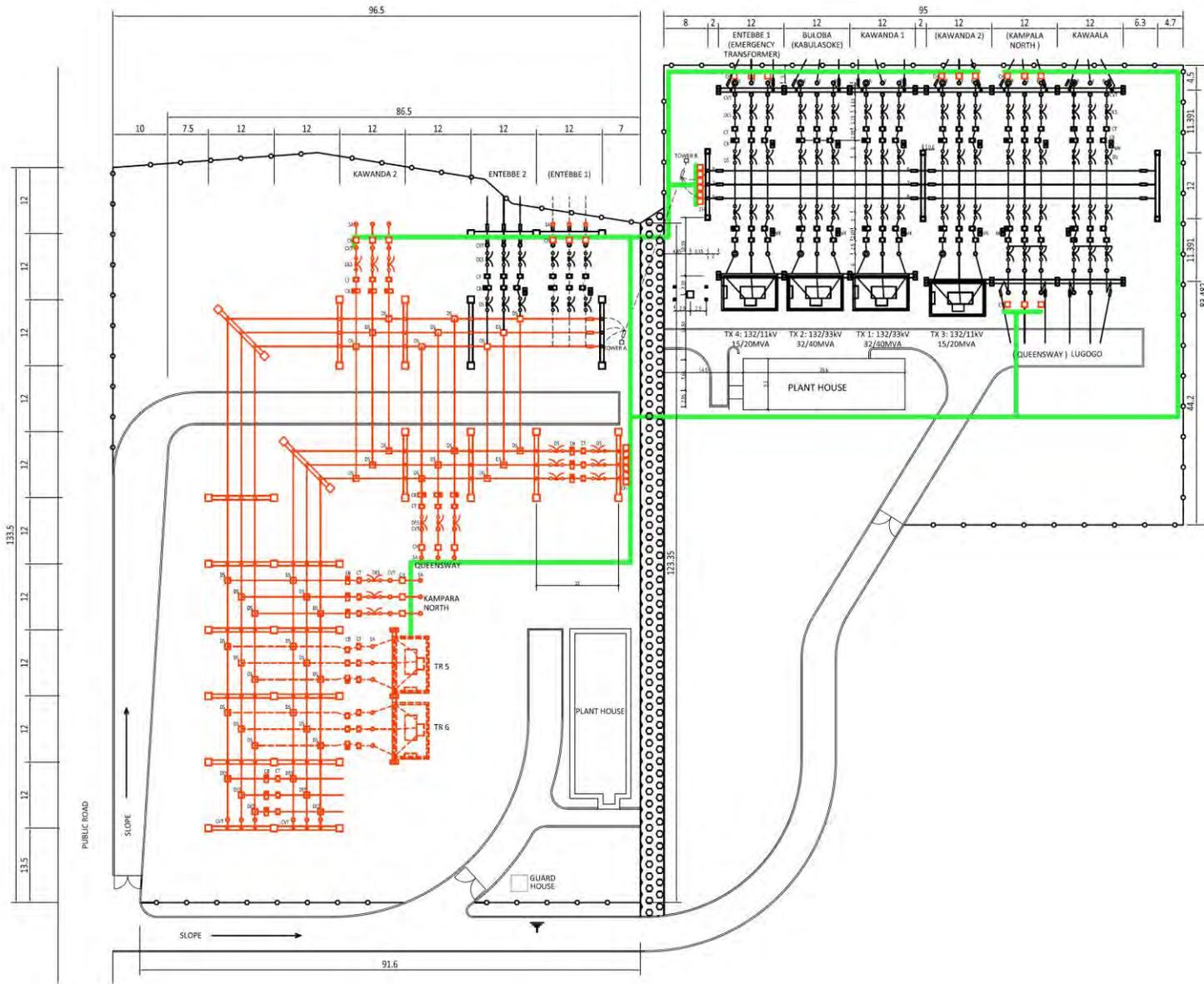


| LEGEND | |
|------------------------------------|--------------|
| — | THIS PROJECT |
| — | EXISTING |

図 5-3-1. 9 ブジャガリ変電所単線結線図 (案)

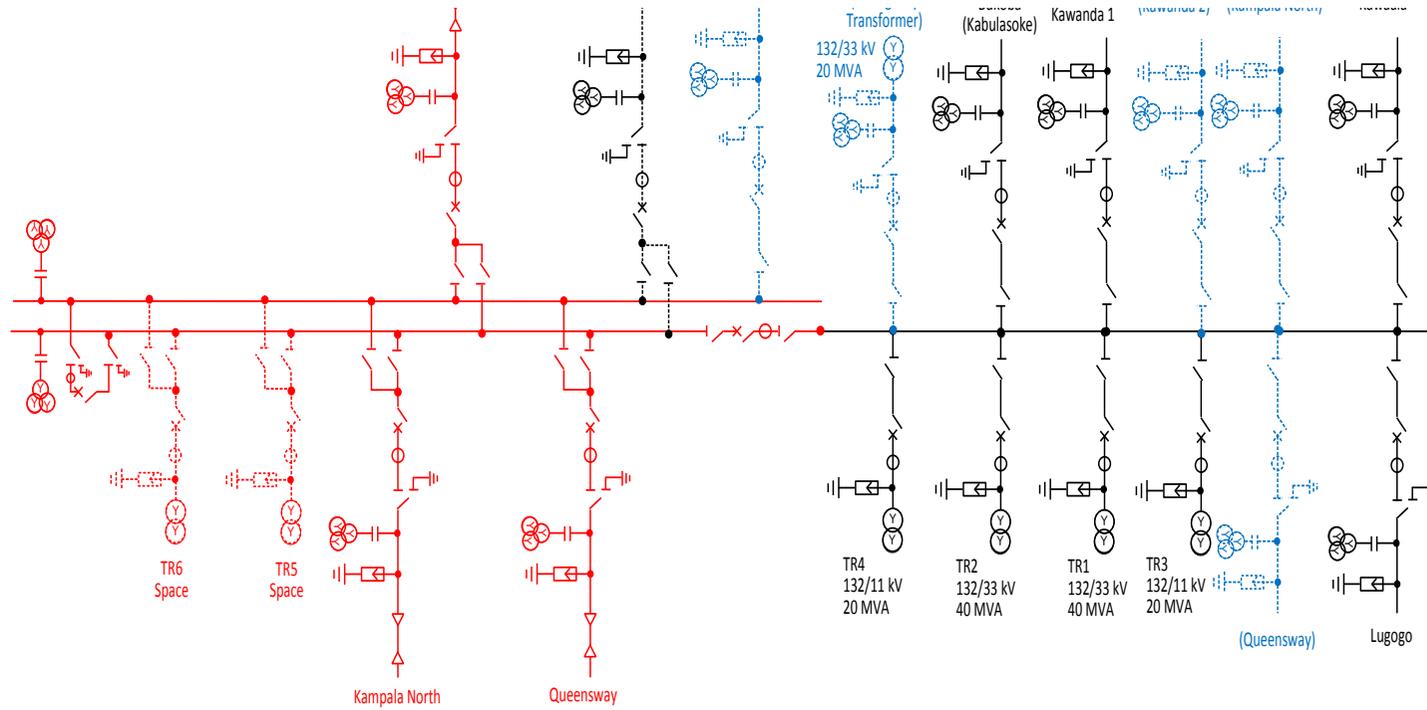
(5) ムトゥンドゥエ変電所更新

当該変電所より電力供給するエンテベ地区への電力供給安定度を増強するため、既設変電所に隣接する UETCL の所有地に、既設 132 kV 母線を拡張した複母線を建設する。同変電所へ接続される 132 kV 送電線は、既設単母線および新設二重母線に分配されることにより、母線および線路事故が発生した際にも健全な母線より送電を継続することが可能となる。さらに、本事業にて 2 台の変圧器（132/33 kV 変圧器および 132/11 kV 変圧器）を新設二重母線へ移設することにより、配電事業の更なる信頼度の向上が実現される。図 5-3-1. 10 にレイアウト（案）を示す。



[単位 : m]
 [出所] JICA 調査団

図5-3-1. 10 ムトウンドウエ変電所レイアウト (案)



LEGEND

- THIS PROJECT
- Existing
- - - - To be presented as () in 2018, but to be relocated / reconnected as labeled under the Project

図5-3-1. 11 ムトゥンドウエ変電所単線結線図 (案)

(6) 移動変電所の調達

1) 移動変電所の主仕様

UETCL は主として以下に示す 3 つの使用目的のために移動変電所を必要としている。

- (i) 既設変電所の変圧器が焼損した際の代替変圧器としての使用
- (ii) 計画の遅れ、変電所更新計画の遅れなどに起因する代替変電所としての使用
- (iii) 変電所工事期間の仮設変電所としての使用

このなかで、(i) の目的として使用する場合、既設変電所への移動性を考慮しつつ、運用面でも十分な変電容量を確保する必要がある。そこで、移動面の拘束が最も厳しいカンパラ首都圏内の道路条件に基づいて移動に必要となる条件を求める。

カンパラ首都圏内にて現在運用されている UETCL の管理する変電所と、それに至るアクセスルートに基づいて検討すると、表 5-3-1.6 示す移動性を最低限満たせば、各変電所へ移動することができると考えられる。

表 5-3-1.6 移動変電所の移動性への要求仕様

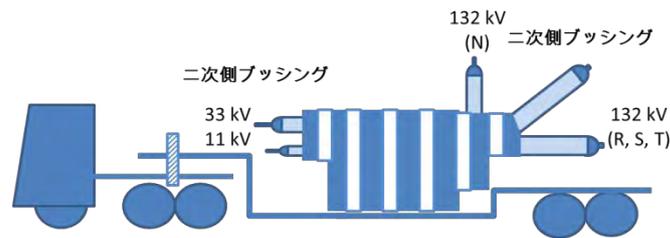
| 項目 | 要求仕様 |
|------|-----------------------------------------------------------|
| 最大勾配 | 12% |
| 旋回半径 | 15 m の幹線道路より、90° の角度をなして交わる幅員 7.5 m の側道に切り返し無しで進入可能であること。 |

[出所] JICA 調査団

高い変電容量を確保しつつ優れた移動性を達成するためには、駆体の大きい一次側開閉設備、主変圧器、そして二次側開閉設備と別トレーラー（ユニット）に搭載し、1 ユニット当たりの寸法および重量を平準化することで、各ユニットの軽量・コンパクト化を図る必要がある。この設計方針に基づく結果、表 5-3-1.6 に示した移動性を満足する電力用変圧器に要求される主仕様を、以下に示す。

- 変電容量 20 MVA
- 一次側定格電圧 132 kV
- 二次側定格電圧 33 kV - 11 kV （選択式）
- 負荷時タップ切替装置 (OLTC) 既設変圧器と同様に、一次側電圧に +5%~-12.5% (17 タップ) の負荷時タップ切替装置 (OLTC) を具備する。
- 冷却方式 導油風冷式
- ベクトルグループ Y-Y-Δ 結線とし、Δ 結線により補機用電源に接続される。

配電事業を請け負うウメメ社は 33 kV, 11 kV の配電網を有している。移動変電所の汎用性を高めるため、選択可能式の 33 kV - 11 kV とした。図 5-3-1.12 に移動変圧器車のイメージ図を示す。



[出所] JICA 調査団

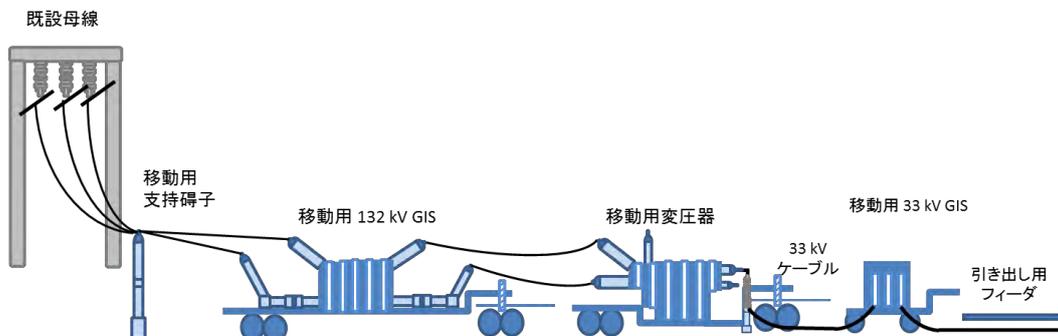
図 5-3-1. 12 移動変圧器車のイメージ

変圧器以外の機材の主仕様を以下に示す。

- 一次および二次側開閉機器 運搬および現地での各機器の組み立て、配置スペースの確保や作業量を軽減するため、ガス絶縁遮断器を採用する。また、二次側には 33 kV 用ガス絶縁遮断器キュービクルタイプを採用し、二次側電圧が 33 kV, 11 kV の各電圧にて対応可能とする。
- 132 kV 架空線(既設設備—一次側開閉機器および一次側開閉機器—変圧器一次側間) 硬アルミより線(サイズ: 55 mm²)とする。
- 33 kV ケーブル(変圧器二次側—二次側開閉機器間) CV ケーブル(サイズ: 200 mm²)とする。

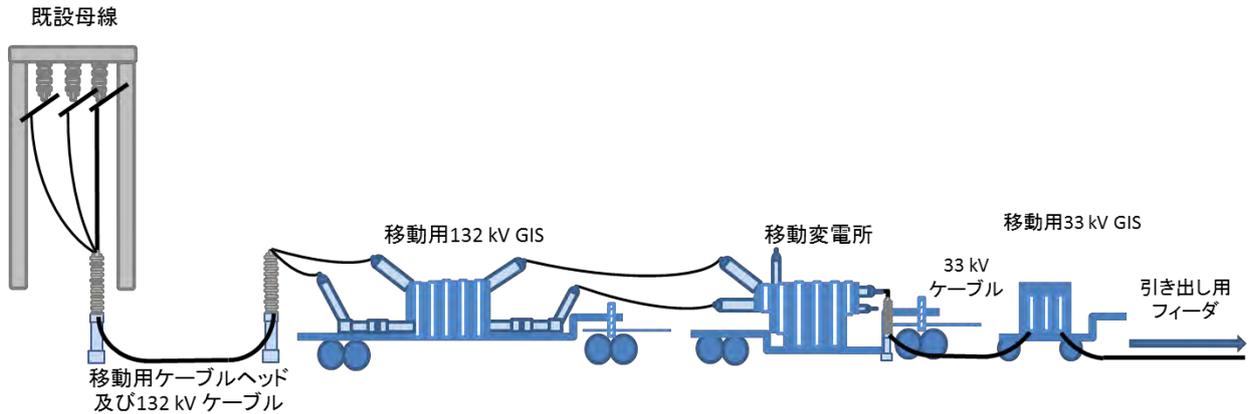
2) 移動変電所の接続の概要

空気絶縁方式の採用されているルゴゴ変電所、ムトゥンドウエ変電所、カンパラ北変電所については、既設 132 kV 母線と接続して使用する形とする。スペアベイのある場合は、架空線を支持するための移動式支持碍子を必要に応じて設置した上で、母線と架空線および一次開閉器～電力変圧器間を接続する。既設変電所にて移動変電所を母線付近に配置するスペースが確保できない場合、既設母線からケーブルヘッドにてケーブル化した上で、一次開閉器へ接続する。なお、電力変圧器～二次開閉設備間は、移動変電所に具備されている電力ケーブルを使用する。図 5-3-1. 13 に、架空線にて既設変電所と接続する場合のイメージ図を示す。また、図 5-3-1. 14 にケーブルを介する接続のイメージを示す。



[出所] JICA 調査団

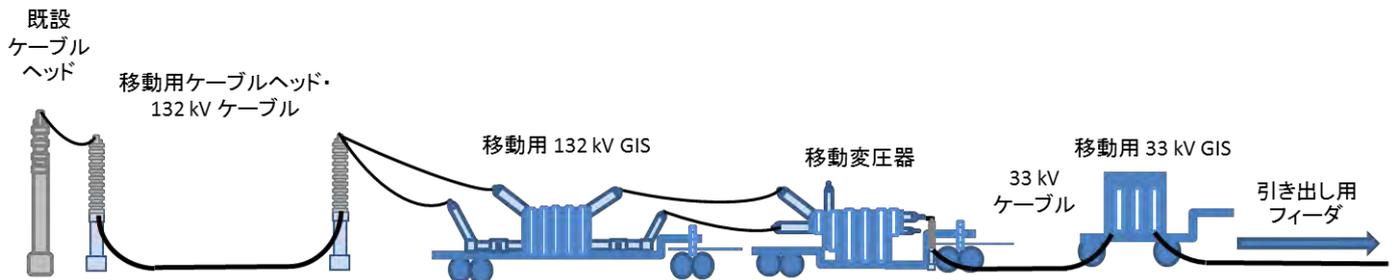
図 5-3-1. 13 AIS を採用している既設変電所との接続のイメージ(架空線接続)



[出所] JICA 調査団

図5-3-1. 14 AISを採用している既設変電所との接続のイメージ（ケーブル接続）

一方、ガス絶縁開閉設備が採用されるクイーンズウェイ変電所（2017年運用開始予定）、カワラ変電所（本計画によりGIS化に改修）においては、図5-3-1. 13に示す接続は不可能であるため、変電所構外の架空送電線よりケーブルに接続されている既設ケーブルヘッドを連系点とし、移動変電所と接続する方法が考えられる。この場合、二次側は移動式二次側開閉装置車を介して、既存変電所内開閉装置、または、直接近隣の配電線へ接続される2つの方式が考えられる。図5-3-1. 15にガス絶縁開閉設備を採用している既設変電所における移動変電所の接続イメージを示す。



[出所] JICA 調査団

図5-3-1. 15 GISを採用している既設変電所との接続のイメージ

5-3-2 送電計画

UETCL のニーズおよび第一次現地調査の結果などを踏まえ、送電設備の改良計画について検討を行った結果、本案件では、表 5-3-2. 1 のとおりの設備設計を行う必要がある。

ムコノ変電所 - ムトゥンドゥエ変電所区間の電線張替については、UETCL の要望および潮流解析の結果などから、本事業の対象とした。カンパラ北変電所 - ムトゥンドゥエ変電所分岐点 - カワラ変電所区間の送電線増設については、UETCL の要望により、本事業の対象とした。

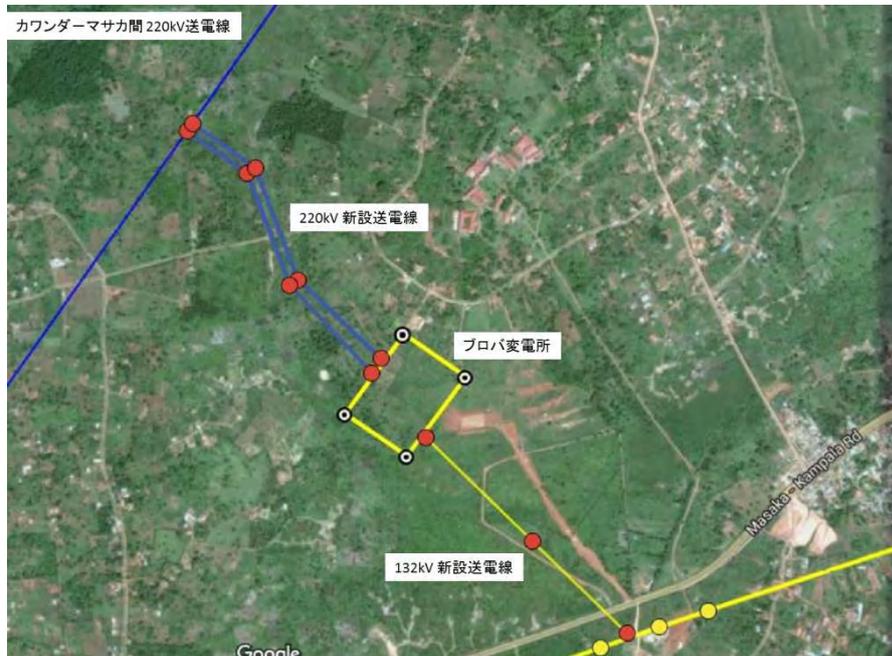
表 5-3-2. 1 送電設備計画の概要

| 区分 | 主要要請コンポーネント | 仕様・数量 | 内容 |
|---------------------------|--------------------------------|--------------|-------|
| 調送電機据材付の | 220 kV 送電線 | | |
| | (1) カワンダ - マサカ変電所間分岐点 - ブロバ変電所 | 0.9 km×4 回線 | 新設 |
| | (2) 新ムコノ分岐点 - 新ムコノ変電所 | 4.2 km×4 回線 | 新設 |
| | 132 kV 送電線 | | |
| | (1) ブロバ分岐点 - ブロバ変電所 | 0.8km×2 回線 | 新設 |
| | (2) 新ムコノ変電所 - 新ムコノ分岐点 (南幹線) | 0.4km×2 回線 | 新設 |
| | (3) ムコノ分岐点 (北幹線) - カンパラ北変電所 | 25.4 km×1 回線 | 増容量線化 |
| (4) カンパラ北変電所 - ムトゥンドゥエ変電所 | 10.2 km×2 回線 | 増容量線化 | |
| (5) カンパラ北変電所 - ルゴゴ変電所 | 5.3 km×2 回線 | 増容量線化 | |
| (6) カワラ分岐点 - カワラ変電所 | 0.1 km×2 回線 | ケーブル化 | |

[出所] JICA 調査団

(1) カワンダ - マサカ変電所間分岐点 - ブロバ変電所区間 220kV 送電線新設

本送電線は、220 kV 新設が計画されているカワンダ - マサカ間の送電線を分岐し、ブロバ変電所に引込む 2 回線 2 ルートの架空送電線である。全長 (亘長) は 1.8 km (0.9 km×2 ルート) である。本送電線のルートを図 5-3-2. 1 に示す。



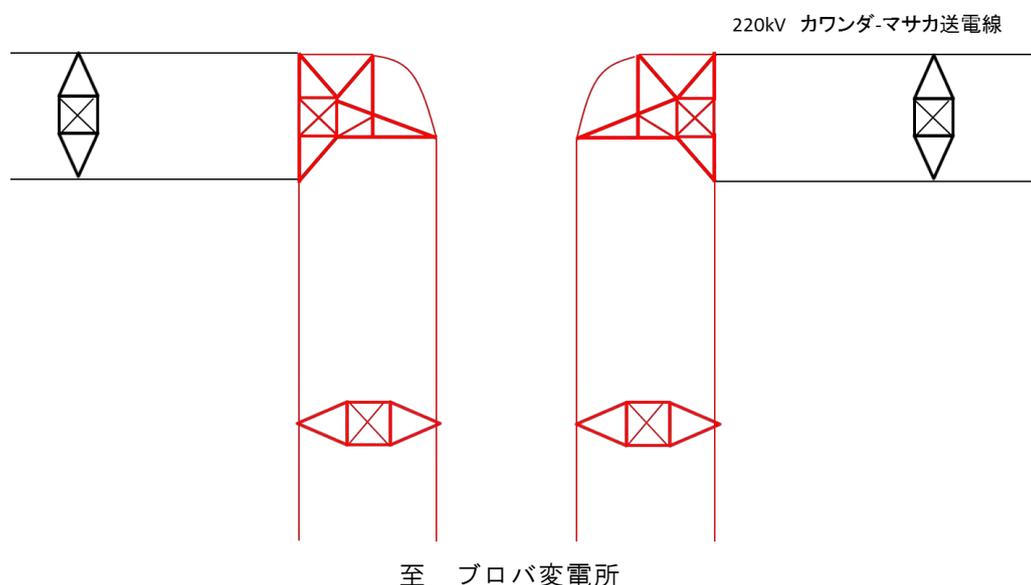
[出所] JICA 調査団

図 5-3-2. 1 ブロバ変電所向け 220 kV、132 kV 送電線ルート図

送電線のルート選定にあたっては、技術面、環境配慮面から検討を行い決定した。なお、ルートの中心間隔は、電氣的離隔、基礎の必要土量を考慮し、35mに設定した。

分岐鉄塔の位置については、分岐鉄塔付近のカワンダ変電所 - マサカ変電所間送電線の鉄塔位置が未定であったことから、同送電線の建設コンサルタントと分岐鉄塔の位置に関して協議を行い、その結果、同送電線に挿入される分岐鉄塔の位置はまず JICA 調査団が決定し、その後、同建設コンサルタントがその位置を自身の設計に反映させることを確認した。

カワンダ変電所 - マサカ変電所間 220 kV 送電線からプロバ変電所への分岐方法を図 5-3-2. 2 に示す。カワンダ変電所 - マサカ変電所間 220 kV 送電線を 2 回線停止できない場合は、バイパス用の仮鉄塔を建て、同送電線による供給を行いながら分岐鉄塔の建設を行う。なお、分岐鉄塔の挿入に伴い、カワンダ変電所 - マサカ変電所間送電線の設計条件が変わることから、同線の鉄塔強度検討を行う必要がある。



[出所] JICA 調査団

図 5-3-2. 2 プロバ変電所の引込み付近の分岐方法

概略設計については、カワンダ変電所 - マサカ変電所間の送電線の設計条件を入手し、その条件と同条件で設計することを基本とした。工事中における資機材の運搬は、コリド一の用地を仮設道として整備し工事を行う。

1) 気候条件の設定

カワンダ変電所 - マサカ変電所間の送電線と接続するため、気候条件は、カワンダ変電所 - マサカ変電所間の送電線のを参考とし、表 5-3-2. 2 のとおり設定する。最大風速は UETCL のこれまでの入札図書を基に設定した。

表 5-3-2. 2 気候条件

| 項目 | 値 |
|------------------------|--------------------|
| 気温 | 最大 45℃ |
| | 最少 5℃ |
| | 平均 35℃ |
| 降雨量 | 1,100mm/年 |
| 年間雷雨日数 (IKL) | 180 |
| 最大風速(地上高 10m 高さで 3 秒間) | 39 m/s |
| 相対湿度 | 90% |
| 標高 | 1,500m |
| 汚損区分 | Medium Category II |

[出所] JICA 調査団

2) 電力線・架空地線の選定

送電線の電力線・地線については、現在計画中であるカワンダ変電所 - マサカ変電所間の電力線と同等の AAAC 240 mm² (2 導体) および AC 55 mm² を選定する。OPGW については、AC 55 mm² と同等サイズの OPGW を選定する。表 5-3-2. 3 および表 5-3-2. 4 に電力線・地線の緒元を示す。

表 5-3-2. 3 220kV ブロバ変電所行送電線の緒元

| 名称 | AAAC 240 mm ² (Double) |
|-------------|-----------------------------------|
| 撚り線構成 | 61/2.25 |
| 導体面積 | 240 mm ² |
| 外径 | 20.25 mm |
| 重量 | 669 kg/km |
| 抗張力 | 67,740 N |
| 弾性係数 | 53,950 N/mm ² |
| 線膨張係数 | 23 × 10 ⁻⁶ /°C |
| 直流抵抗 (20°C) | 0.1383 ohm/km |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-2. 4 架空地線の緒元

| 名称 | AC 55 mm ² | OPGW 55 mm ² |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 撚り線構成 | 7 × 3.2 mm | AC 6 × 3.23 mm |
| 導体面積 | 56.29 mm ² | 62.71 mm ² |
| 外径 | 9.6 mm | 9.6 mm |
| 重量 | 356.5 kg/km | 354.6 kg/km |
| 抗張力 | 64,300 N | 54,400 N |
| 弾性係数 | 149,100 N/mm ² | 149,100 N/mm ² |
| 線膨張係数 | 12.9 × 10 ⁻⁶ /°C | 12.9 × 10 ⁻⁶ /°C |
| 直流抵抗 (20°C) | 1.34 ohm/km | 1.54 ohm/km |

[出所] JICA 調査団

3) クリアランス条件の設定

クリアランス条件は、カワンダ変電所 - マサカ変電所間の送電線および過去の送電線工事を参考にし、表 5-3-2. 5 のとおり設定する。

表 5-3-2. 5 離隔距離 (220 kV)

| | |
|------------|-------|
| 導体、支持物、腕金等 | 1.4 m |
| 地面 | 7.0 m |
| 道路 | 8.0 m |
| 樹木 | 3.9 m |

[出所] JICA 調査団

4) 架線条件の設定

a) 電力線の最大使用張力

電力線の最大使用張力は、次の 2 つの要因により決定される。

- 最大張力が最悪条件時に抗張力 UTS (Ultimate Strength Tensile) の 40%を超えないこと。
- 常時張力 EDS (Tension at 28°C with no wind) が UTS の 20%以下であること。

b) 架空地線の最大使用張力

架空地線の最大使用張力は、標準径間 (350m) で EDS の条件において、電力線の 80%を超過しないような弛度となるように設定する。

表 5-3-2. 6 に電力線および架空地線の最大使用張力と EDS を示す。

表 5-3-2. 6 最大使用張力と EDS

| 名称 | 抗張力 | 最大使用張力 | EDS |
|--------------------------|----------|---------------------------|---------------------------|
| AAAC 240 mm ² | 67,740 N | 24,500 N (MWT/UTS=36%) | 13,430 N (EDS/UTS=20%) |
| AC 55 mm ² | 64,880 N | 14,210 N (MWT/UTS=22%) | 10,490 N (EDS/UTS=16%) |
| OPGW 55 mm ² | 54,000 N | 14,210 N (MWT/UTS=26%) | 10,880 N (EDS/UTS=20%) |

[出所] JICA 調査団

c) 電力線の弛度

径間長による弛度の概略計算結果を表 5-3-2. 7 に示す。

表 5-3-2. 7 電力線の弛度 (75 °C)

| 径間長 | 弛度 |
|-------|--------|
| 250 m | 5.8 m |
| 300 m | 7.7 m |
| 350 m | 10.1 m |
| 400 m | 12.7 m |
| 450 m | 15.7 m |

[出所] JICA 調査団

5) 碍子装置、支持物、基礎の設定

a) 碍子装置

碍子装置は、IEC 60120 および 60305 またはそれと同等の規格を満足するボールソケット型の碍子を採用する。碍子装置の安全率は 3.0 以上とする。表 5-3-2. 8 に碍子の例を示す。なお、最少表面漏れ距離は、汚損区分より 4,900 mm である。

表 5-3-2. 8 碍子の例

| 型式 | 高さ | 直径 | 保証強度 | 個数 |
|--------|-------|-------|-------|----|
| U120B | 146mm | 255mm | 120kN | 17 |
| U160BS | 146mm | 280mm | 160kN | 16 |

[出所] JICA 調査団

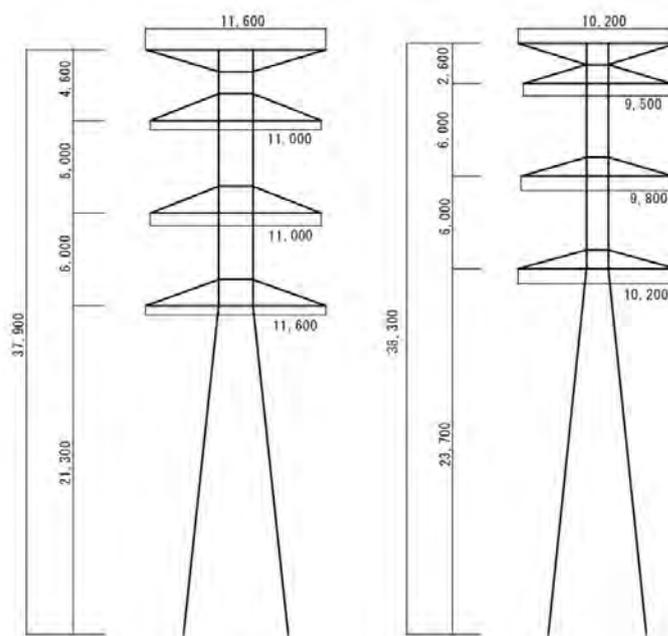
b) 支持物

基本的な鉄塔型は表 5-3-2. 9 に示すとおり、A~D の 4 型とする。鉄塔は 220 kV で標準的に使用されているアングル鋼材を用いた鉄塔とする。鉄塔の例を図 5-3-2. 3 に示す。

表 5-3-2. 9 基本的な鉄塔型

| 型 | 碍子装置 | 水平角度 |
|---|------|----------|
| A | 懸垂 | 0° ~ 3° |
| B | 耐張 | 0° ~ 30° |
| C | 耐張 | 0° ~ 60° |
| D | 耐張 | 引留 |

[出所] JICA 調査団



[単位 : mm]

[出所] JICA 調査団

図 5-3-2. 3 鉄塔の例 (左 : 耐張型 右 : 懸垂型)

c) 基礎

プロバ変電所の対象地周辺には、キオガ湖へ流れる地下水流があるとみられ、周辺は大きな湿地帯となっている。送電線の鉄塔基礎の検討にあたって、軟弱地盤及び高い地下水位の影響が懸念されることから、「4-2 自然条件」に示したように、220

kV 引込み送電線ルート上 1 箇所 (BH03)、132 kV 引込み送電線ルート上 1 箇所 (BH01) でそれぞれ地質調査を実施した。また、変電所用地において、用地内で 14 m 程度の高低差が確認され地質条件が異なると想定されるため、敷地内で標高が高い側である北側と、標高が低い側である南側で地質調査を実施している。北側の測定位置 (BH02) が変電所への 220 kV 送電線引込み部であり、南側の測定位置 (BH04) が変電所への 132 kV 送電線引込み部である。従って、測定位置 BH02 及び BH03 が 220 kV 送電線ルート上の地質データであり、測定位置 BH01 及び BH04 が 132 kV 送電線ルート上の地質データである。220 kV 引込みルート、132 kV 引込みルートとも、引込み区間の亘長が 1 km 程度と短いため、ルート上の地質データは測定点における調査結果を適用する方針とする。

添付資料-9 の表 1-1 から 1-4 に各地点の標準貫入試験の結果概要を示す。粘土質土壌であれば、N 値 20 以上が支持層と判断され、この支持層が地下 10 m より浅い位置に確認される場合、一般的な逆 T 字基礎が採用可能である。添付資料-9 に示した表 1-2 の BH02 の結果及び表 1-3 の BH03 の結果より、220 kV 送電線ルート上の支持層を表 5-3-2. 1 に示す。同表に示すように、8 m から 10 m 深さにて支持層が確認された。

表 5-3-2. 10 地質調査結果 (プロバ変電所)

| 位置* | 支持層 |
|------|------------------------------|
| BH02 | 地下 10m (粘性土, N 値 ≥ 20) |
| BH03 | 地下 8m (粘性土, N 値 ≥ 20) |

[備考] BH02、BH03 の位置については地質調査結果を参照。

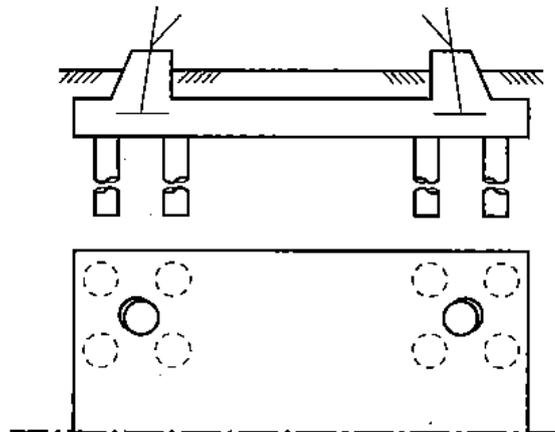
[出所] 添付資料-9

一方、懸念されていた地下水位は、BH02 では確認されなかったが、BH03 では深さ 0.9 m で確認された。また粒度試験と液性限界・塑性限界試験から地質分類を行ったところ、BH02 及び BH03 の支持層の土質は高含水シルト質であることが確認された。これら地下水位の上昇、支持層の土質の観点から沈下量が大きい懸念がある。また地盤の液状化について、BH02・BH03 において支持層は粘土質及びシルト質が主 (35% 以上) であり、塑性指数が高い (15% 以上) ことから、液状化の可能性は低いとみられる。室内試験結果から算定した結果によると、「4-2 自然条件」に示したように、比較的大きな沈下量が想定される。このためウガンダの既設 132 kV 鉄塔の設計データ等から塔脚にかかる荷重 (73 t※安全係数 2) と、基礎荷重 (逆 T 字型, 高さ 7 m, 床板 7.1 m 角, 20 t※基礎体積分の土重量を基礎重量から差し引いた値) を用い、圧密試験で得られた圧縮指数 C_c による沈下量を求めたところ、BH03 で 21 mm、BH02 で 11 mm の沈下量となった。よって BH03 は大きな沈下量と高い地下水位であることから、不同沈下の懸念がある。BH02 については、沈下量は比較的小さく、地下水位の上昇も確認されないが、後述に示すように、BH02 から 250m 離れた BH04 では沈下量が大きく、地下水位の上昇も確認されている。BH02 は BH04 より標高が 12m 程高いため、支持層の下層に BH04 のような大きな沈下層が存在する可能性がある。よって

BH02 においても不同沈下が懸念される。

添付資料－9 に示す地形測量調査結果について、220kV ブロバ送電ルート上において、問題及び要検討となる断層、地すべり・崩壊地形、角度 10° を超える傾斜は確認されなかった。

以上より、BH02・BH03 において、逆 T 字基礎の場合、大きな沈下量から不同沈下が懸念されるためマット基礎を採用する方針とする。また支持層が 8 m～10 m と深いため、マット型杭基礎を採用する。図 5－3－2. 4 にマット型杭基礎の例を示す。なお、土壌の化学分析により、腐食性地盤（硫化物 1～3%・塩化物 0.1～0.4%）であることが確認されたため、杭基礎について、鋼管杭だと腐食の影響があるため PC 杭とする等、検討が必要である。

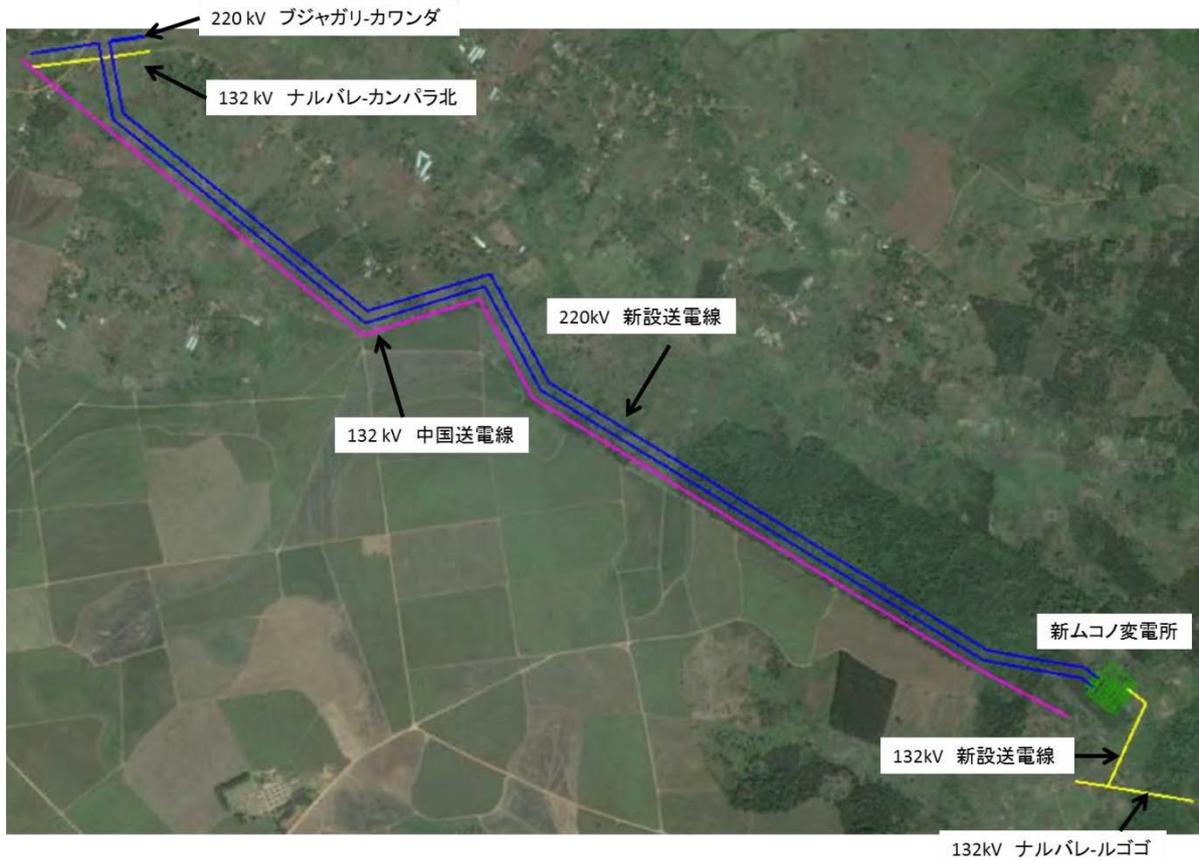


[出所] 電気協同研究会第 58 巻第 3 号

図 5－3－2. 4 マット型杭基礎

(2) 新ムコノ分岐点－新ムコノ変電所区間 220kV 送電線新設

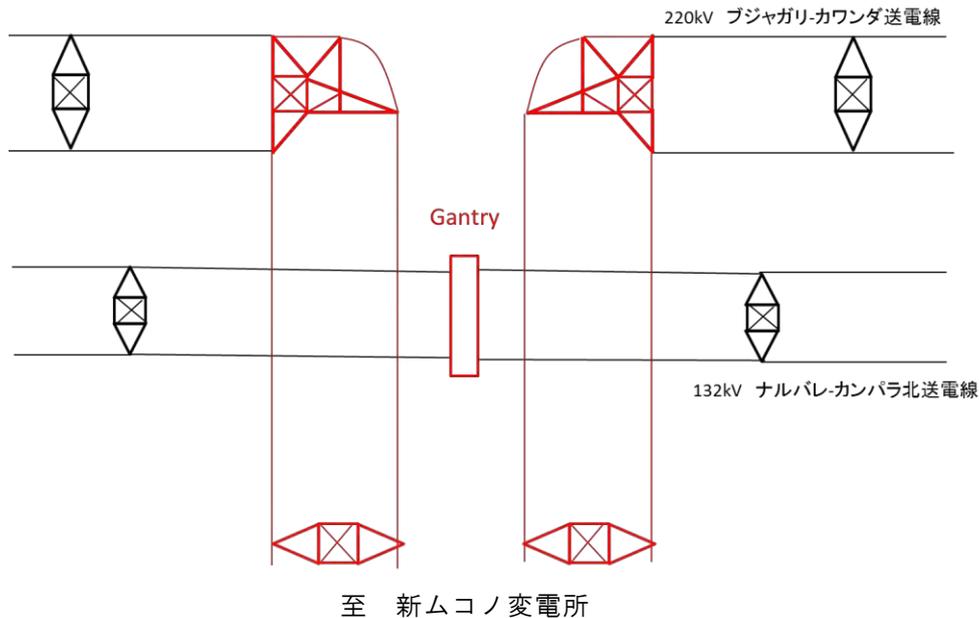
本送電線は、220 kV ブジャガリ変電所 - カワランダ変電所間の送電線を分岐し、新ムコノ変電所に引込む 2 ルート（各 2 回線）の架空送電線である。全長（亘長）は 8.4 km（4.2 km × 2 ルート）である。本送電線のルートを図 5－3－2. 5 に示す。



[出所] JICA 調査団

図 5-3-2. 5 新ムコノ変電所向け 220 kV、132 kV 送電線ルート図

本送電線は、隣接するナルバレ変電所-カンパラ北変電所間 132 kV 送電線を上越しする必要があるため、同送電線 No.77 と No.78 の間にガントリーを設置し、分岐させる。分岐方法を、図 5-3-2. 6 に示す。220 kV ブジャガリ変電所 - カワンダ変電所間の送電線を 2 回線停止できない場合は、バイパス用の仮鉄塔を建て、同送電線による供給を行いながら分岐鉄塔の建設を行う。なお、分岐鉄塔の挿入に伴い、ブジャガリ変電所 - カワンダ変電所間送電線の設計条件が変わることから、同線の鉄塔強度検討を行う必要がある。



[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 6 新ムコノ変電所引込み付近の分岐方法

送電線のルート選定にあたっては、技術面、環境配慮面から検討を行い決定した。なお、ルート間の中心間隔は電氣的離隔、基礎の必要土量を考慮し、角度点を除き 25m に設定した。

工事中における資機材の運搬は、コリドーの用地を仮設道として整備する。

1) 気候条件の設定

気候条件は、(1)と同様、表5-3-2. 2のとおり設定する。

2) 電力線・架空地線の選定

送電線の電力線・地線については、ブジャガリ変電所 - カワンダ変電所間の電力線と同等の AAAC 240 mm² (2 導体) および AC 55 mm² を選定する。OPGW については、AC 55 mm² と同等サイズの OPGW を選定する。電力線・地線の緒元は(1)と同様であり、表5-3-2. 3 および表5-3-2. 4 に示すとおりである。

3) クリアランス条件の設定

クリアランス条件は(1)と同様、表5-3-2. 5のとおり設定する。

4) 架線条件の設定

架線条件の設定は(1)と同様とし、電力線および架空地線の最大使用張力と EDS は表5-3-2. 6のとおりとする。

5) 碍子装置、支持物、基礎の設定

a) 碍子装置

碍子装置は、(1)と同様の碍子装置を採用する。

b) 支持物

支持物は(1)と同様とし、鉄塔の例は図5-3-2. 3のとおりとする。

c) 基礎

新ムコノ変電所周辺に関しては、「4-2 自然条件」に示したように、プロバ変電所と異なり、周辺に大きな湿地帯等は確認されなかったため、代表点として変電所用地において、1箇所について地質調査を実施した。

添付資料-9の表3-1に各地点の標準貫入試験の結果概要を示す。砂質土壌であれば、N値30以上が支持層と判断され、この支持層が地下10mより浅い位置に確認される場合、一般的な逆T字基礎が採用可能である。添付資料-9に示した表3-1の結果から支持層を表5-3-2. 11に示す。同表に示すように、支持層の位置が地下19.5mとなっている。

表5-3-2. 11 地質調査結果

| 位置 | 支持層 |
|--------|--------------------------|
| ムコノ変電所 | 地下10m(砂質土, N値 \geq 30) |

[出所] 添付資料-9

地下水位については、28.5mまで確認されなかったことから、地下水位上昇の可能性は低い。よって地下水位上昇による基礎引揚支持力の低下や砂質地盤の液状化について、可能性は低いとみられる。地層について、粒度試験・液性限界/塑性限界試験により地質分類を行い、深さ7.5mまでは柔らかい低含水シルト層、深さ13.5mまでは締まった砂礫層、深さ18mまではゆるい砂礫層、深さ28.5mまでは密なシルト質砂層となっている。深さ18mまでの緩い砂礫層は砂質地盤であることから圧縮されないとして、沈下の可能性は低い(De. Beer法による砂質地盤沈下量概算値¹⁾: 約5mm)。また含水比試験により深さ10m以降の地盤の含水比は30%以下(5%~23%)であるため沈下の問題は少ないとみられる。

添付資料-9に示す地形測量調査結果より、220kVムコノ送電ルート上において、問題及び要検討となる断層、地すべり・崩壊地形、角度10°を超える傾斜、大きな湿地帯、氾濫原、軟弱地盤は確認されなかった。

以上より、施工面・経済性から逆T字基礎を採用する。

(3) プロバ変電所 - ムトゥンドウエ変電所 - カブラソケ変電所間分岐点区間 132 kV 送電線新設

本送電線は、本案件で新設する220kVプロバ変電所から既設ムトゥンドウエ変電所 - カブラソケ変電所間の送電線に接続する132kVの架空送電線である。全長(亘長)は0.8km

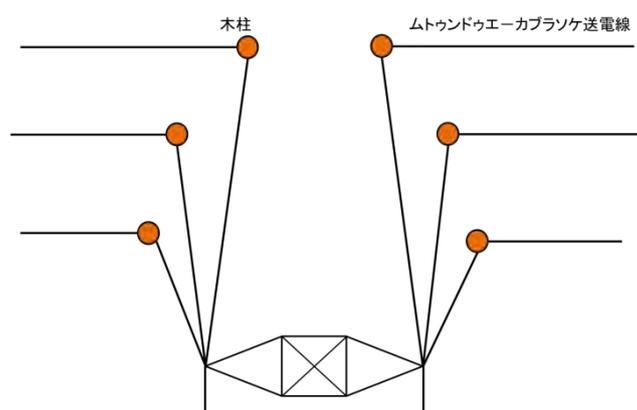
¹⁾ 沈下量=即時沈下量+圧密沈下量 ※深さ8mにて逆T字基礎(床板幅7.1m)、載荷重93t(132kV鉄塔 Tororo - Owen fallsを参考)、沈下層厚さ20mで計算(圧縮指数Ccを使用)

である。本送電線のルートを(1)と同様に図5-3-2. 1に示す。

送電線のルート選定にあたっては、技術面、環境配慮面から検討を行い、最短距離で送電線に接続でき、かつ、送電線が直線となるルートを選定した。

既設ムトゥンドゥエ-カブラソケ変電所間の送電線が将来 UETCL により 2 回線送電線に建替えられ、プロバ変電所からムトゥンドゥエ向けに 2 回線、カブラソケ向けに 2 回線供給する計画となっていることから、本送電線は 132 kV 4 回線送電線とする。

既設ムトゥンドゥエ-カブラソケ変電所間の送電線への分岐については、UETCL が同送電線を 2 回線鉄塔に建替えるまでの臨時的措置として、図5-3-2. 7のように、木柱を挿入し鉄塔へ分岐させる。



[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 7 ムトゥンドゥエ変電所 - カブラソケ変電所間送電線への分岐方法

概略設計については、カワンダ変電所 - マサカ変電所間の送電線的设计条件を入手し、その条件と同条件で設計することを基本とした。

工事中における資材の運搬は、コリドーの用地を仮設道として整備し工事を行う。

1) 気候条件の設定

気候条件は、(1)と同様、カワンダ変電所 - マサカ変電所間の送電線のものを参考とし、表5-3-2. 2のとおりとする。

2) 電力線・架空地線の選定

送電線の電力線については、系統解析の結果、2030年断面で102MVAの容量が必要であることが判明した。よって、接続先の送電線であるムトゥンドゥエ変電所 - カブラソケ変電所間の電力線と同等のAAAC 200 mm²では容量が足りないことから、AAAC 240 mm² (2 導体)を選定する。また、架空地線については、カワンダ変電所 - マサカ変電所間の架空地線と同等のAC 55 mm²を選定する。OPGWについては、AC 55 mm²と同等サイズのOPGWを選定する。表5-3-2. 1 2および表5-3-2. 1 3に電力線・地線の緒元を示す。

表 5-3-2. 12 電力線の緒元

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| 名称 | AAAC 240 mm ² (Double) |
| 撚り線構成 | 61/2.25 |
| 導体面積 | 240 mm ² |
| 外径 | 20.25 mm |
| 重量 | 669 kg/km |
| 抗張力 | 67,740 N |
| 弾性係数 | 53,950 N/mm ² |
| 線膨張係数 | 23×10 ⁻⁶ /°C |
| 直流抵抗 (20°C) | 0.1383 ohm/km |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-2. 13 架空地線の緒元

| 名称 | AC 55 mm ² | OPGW 55 mm ² |
|-------------|---------------------------|---------------------------|
| 撚り線構成 | 7×3.2 mm | AC 6×3.23 mm |
| 導体面積 | 56.29 mm ² | 62.71 mm ² |
| 外径 | 9.6 mm | 9.6 mm |
| 重量 | 356.5 kg/km | 354.6 kg/km |
| 最少引張荷重 | 64,300 N | 54,400 N |
| 弾性係数 | 149,100 N/mm ² | 149,100 N/mm ² |
| 線膨張係数 | 12.9×10 ⁻⁶ /°C | 12.9×10 ⁻⁶ /°C |
| 直流抵抗 (20°C) | 1.34 ohm/km | 1.54 ohm/km |

[出所] JICA 調査団

3) クリアランス条件の設定

クリアランス条件は、カワンダ変電所ーマサカ変電所間の送電線および過去の送電線工事を参考にし、表 5-3-2. 14 の通り、設定する。

表 5-3-2. 14 離隔距離 (132 kV)

| | |
|------------|-------|
| 導体、支持物、腕金等 | 1.0 m |
| 地面 | 6.5 m |
| 道路 | 7.5 m |
| 樹木 | 2.7 m |

[出所] JICA 調査団

4) 架線条件の設定

a) 電力線の最大使用張力

電力線の最大使用張力は、次の 2 つの要因により決定される。

- 最大張力が最悪条件時に抗張力 (Ultimate Strength Tensile: UTS) の 40% を超えないこと。
- 常時張力 (Every Day Stress: EDS) (Tension at 28°C with no wind) が UTS の 20% 以下であること。

b) 架空地線の最大使用張力

架空地線の最大使用張力は、標準径間（350m）で EDS の条件において、電力線の 80%を超過しないような弛度となるように設定する。

表 5-3-2. 15 に電力線および架空地線の最大使用張力と EDS を示す。

表 5-3-2. 15 最大使用張力と EDS

| 名称 | 抗張力 | 最大使用張力 | EDS |
|--------------------------|----------|---------------------------|---------------------------|
| AAAC 240 mm ² | 67,740 N | 24,500 N (MWT/UTS=36%) | 13,430 N (EDS/UTS=20%) |
| AC 55 mm ² | 64,880 N | 14,210 N (MWT/UTS=22%) | 10,490 N (EDS/UTS=16%) |
| OPGW 55 mm ² | 54,000 N | 14,210 N (MWT/UTS=26%) | 10,880 N (EDS/UTS=20%) |

[出所] JICA 調査団

c) 電力線の弛度

径間長による弛度の概略計算結果を表 5-3-2. 16 に示す。

表 5-3-2. 16 電力線の弛度（75 °C）

| 径間長 | 弛度 |
|-------|--------|
| 250 m | 5.8 m |
| 300 m | 7.7 m |
| 350 m | 10.1 m |
| 400 m | 12.7 m |
| 450 m | 15.7 m |

[出所] JICA 調査団

5) 碍子装置、支持物、基礎の設定

a) 碍子装置

碍子装置は、IEC 60120 および 60305 またはそれと同等の規格を満足するボールソケット型の碍子を採用する。表 5-3-2. 17 に碍子の例を示す。碍子装置の安全率は 2.5 以上とする。なお、最少表面漏れ距離は、汚損区分より 2,900 mm である。最高電圧は 145 kV である。

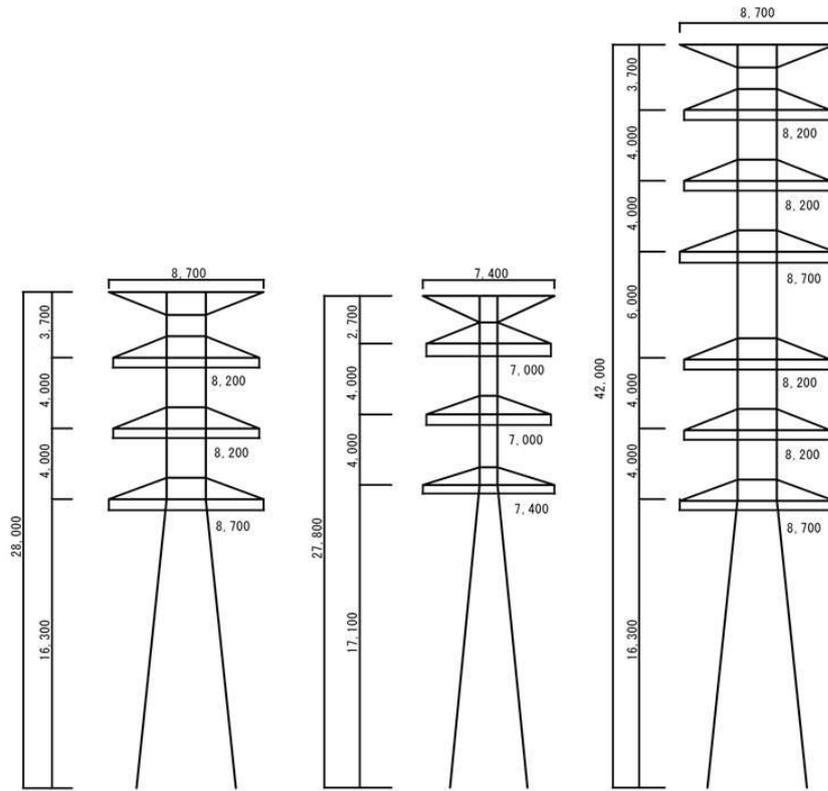
表 5-3-2. 17 碍子の例

| 型式 | 高さ | 直径 | 保証強度 | 個数 |
|-------|-------|-------|-------|----|
| U120B | 146mm | 255mm | 120kN | 12 |

[出所] JICA 調査団

b) 支持物

基本的な鉄塔型は（1）と同様に、表 5-3-2. 9 に示すとおり、A~D の 4 型とする。鉄塔はアングル鋼材を用いた鉄塔とする。鉄塔の例を図 5-3-2. 8 に示す。



[単位：mm]

[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 8 鉄塔の例（左：耐張型 中：懸垂型 右：4回線）

c) 基礎

本送電ルート上に大きな湿地帯があるため、送電線の鉄塔基礎の検討にあたって、軟弱地盤及び高い地下水位の影響が懸念されることから、132 kV 送電ルート上のBH01及びBH04にて地質調査を行った。

添付資料-9の表1-1から1-4に各地点の標準貫入試験の結果概要を示す。粘土質土壌であれば、N値20以上が支持層と判断され、この支持層が地下10mより浅い位置に確認される場合、一般的な逆T字基礎が採用可能である。添付資料-9に示した表1-1のBH01の結果及び表1-4のBH04の結果から、132 kV 送電ルート上の支持層を表5-3-2. 18に示す。同表に示すように、測定位置BH01では支持層の位置が地下9m、測定位置BH04では支持層の位置が地下14mで確認された。

表5-3-2. 18 地質調査結果（プロバ変電所132 kV 送電ルート）

| 位置 | 支持層 |
|------|--------------------------|
| BH01 | 地下9m（粘性土，N値 ≥ 20 ） |
| BH04 | 地下14m（粘性土，N値 ≥ 20 ） |

[出所] 添付資料-9

懸念されていた地下水位が、BH01において深さ0.4mで、BH04において深さ3.8mで確認された。また粒度試験と液性限界・塑性限界試験から地質分類を行ったところ、

BH01 の支持層は粘土質、BH04 の支持層は高含水シルト質であることが確認された。これら地下水位の上昇、支持層の土質の観点から沈下量が大きい懸念がある。また地盤の液状化については、BH01~BH04 において支持層は粘土質及びシルト質が主 (35%以上)であり、塑性指数が高い (15%以上)ことから、液状化の可能性は低いとみられる。「4-2 自然条件」に示したように、比較的大きな沈下量が想定される。このため前述の圧密試験で得られた圧縮指数 C_c からの沈下量計算により、BH01 で 24 mm、BH04 で 21 mm の沈下量となり、大きな沈下量と高い地下水位であるため、不同沈下の懸念がある。

添付資料-9 に示す地形測量調査結果について、132 kV ブロバ送電ルート上において、問題及び要検討となる断層、地すべり・崩壊地形、角度 10° を超える傾斜は確認されなかった。

以上より、逆 T 字基礎を採用する場合、不同沈下が懸念されるため、マット基礎を採用する方針とした。また支持層が 9 m~14 m と深いためマット型杭基礎を採用する方針とした。なお、土壌の化学分析により、腐食性地盤(硫化物 1~4%・塩化物 0.3~0.9%)であることが確認されたため、杭基礎について、鋼管杭だと腐食の影響があるため PC 杭とする等、検討が必要である。

(4) 新ムコノ変電所-新ムコノ分岐点 (南幹線)

本送電線は、132 kV ナルバレ変電所 - ルゴゴ変電所間の送電線を分岐し、新ムコノ変電所に引込む 2 回線 2 ルートの架空送電線である。全長 (亘長) は 0.5 km である。本送電線のルートを、(2)と同様に図 5-3-2. 5 にて示す。

ナルバレ変電所 - ルゴゴ変電所間 220 kV 送電線からブロバ変電所への分岐方法を、図 5-3-2. 9 に示す。将来、2 回線 2 ルート引き込みとなることから、分岐鉄塔は 2 基挿入しておく。132 kV ナルバレ変電所 - ルゴゴ変電所間の送電線を 2 回線停止できない場合は、バイパス用の仮鉄塔を建て、同送電線による供給を行いながら分岐鉄塔の建設を行う。なお、分岐鉄塔の挿入に伴い、ナルバレ変電所 - ルゴゴ変電所間送電線の設計条件が変わることから、同送電線の鉄塔強度検討を行う必要がある。

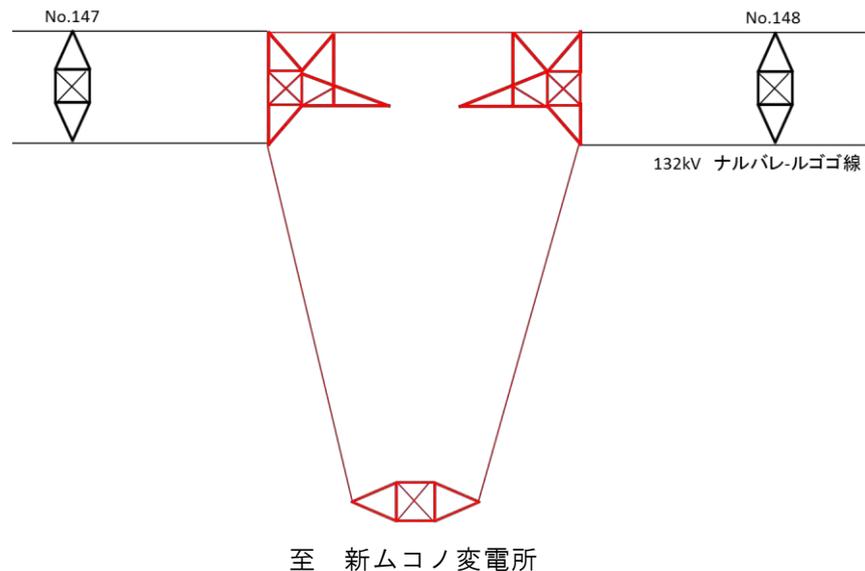


図 5-3-2. 9 分岐方法

送電線のルート選定にあたっては、技術面、環境配慮面から検討を行い、決定した。工事中における資機材の運搬は、コリドーの用地を仮設道として整備し工事を行う。

1) 気候条件の設定

気候条件は(1)と同様、表 5-3-2. 2 のとおり設定する。

2) 電力線・架空地線の選定

送電線の電力線・地線については、ブジャガリ変電所 - カワンダ変電所間の電力線と同等の ACSR Starling および亜鉛めっき鋼より線 (Galvanized Steel Wire: GSW 55 mm²) を選定する。電力線・地線の緒元は、表 5-3-2. 19 および表 5-3-2. 20 に示す。

表 5-3-2. 19 電力線の緒元

| 名称 | ACSR Starling |
|-------------|----------------------------|
| 撚り線構成 | 26/7 |
| 導体面積 | 421.08 mm ² |
| 外径 | 26.7 mm |
| 重量 | 1,467 kg/km |
| 抗張力 | 124,000 N |
| 弾性係数 | 77,100 N/mm ² |
| 線膨張係数 | 19.36×10 ⁻⁶ /°C |
| 直流抵抗 (20°C) | 0.08 ohm/km |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-2. 20 架空地線の緒元

| 名称 | GSW 55 mm ² |
|-------------|---------------------------|
| 撚り線構成 | 7×3.2 mm |
| 導体面積 | 56.29 mm ² |
| 外径 | 9.6 mm |
| 重量 | 446 kg/km |
| 抗張力 | 63,700 N |
| 弾性係数 | 205,900 N/mm ² |
| 線膨張係数 | 11.5×10 ⁻⁶ /°C |
| 直流抵抗 (20°C) | 2.15 ohm/km |

[出所] JICA 調査団

3) クリアランス条件の設定

クリアランス条件は、(3)と同様、表 5-3-2. 5 のとおり設定する。

4) 架線条件の設定

架線条件の設定は(3)と同様とし、電力線および架空地線の最大使用張力と EDS は表 5-3-2. 21 のとおりとする。

表 5-3-2. 21 最大使用張力と EDS

| 名称 | 抗張力 | 最大使用張力 | EDS |
|------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| ACSR Starling | 124,000 N | 34,300 N (MWT/UTS=28%) | 23,800 N (EDS/UTS=19%) |
| GSW 55 mm ² | 63,700 N | 15,680 N (MWT/UTS=25%) | 11,860 N (EDS/UTS=19%) |

[出所] JICA 調査団

5) 碍子装置、支持物、基礎の設定

a) 碍子装置

碍子装置は(3)と同様の碍子装置を採用する。

b) 支持物

支持物は(3)の2回線鉄塔と同様とし、鉄塔の例は図 5-3-2. 8 のとおりとする。

c) 基礎

同送電ルートは前述の(2)-5)-c)の地質調査ポイント BH01 付近 (300 m 以内) に位置しているため、前述の BH01 の地質調査結果から、杭基礎を採用する方針とする。

表 5-3-2. 22 地質調査結果 (新ムコノ変電所 132 kV 送電ルート)

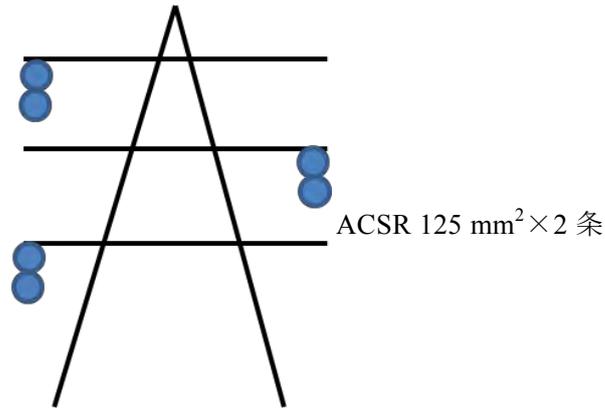
| 位置 | 支持層 |
|---------|-------------------------------|
| 新ムコノ変電所 | 地下 19.5m (砂質土, N 値 \geq 30) |

[出所] 添付資料-9

(5) ムコノ変電所カンパラ北変電所 区間送電線張替

本送電線について、サイト状況調査により現状の送電鉄塔および基礎の状況を確認したところ、第3章で述べたように、鉄塔部材、鉄塔基礎などの支持物は、経年による劣化は進んでおらず健全な状態であることを確認した。したがって、支持物に関しても増強した電線資材と同程度の設備寿命が確保されることが推定される。

電力線は、建設当時は ACSR 175 mm² (Lynx)、2回線であったが、1998年ごろ、ナマンベ変電所の横にある発電所 (50 MW) の建設に伴い、ナルバレ変電所~カンパラ北変電所の送電線を増強する必要が生じた。そのため、本区間において、2回線のうち1回線は ACSR 125 mm²×2条三角配列 (図 5-3-2. 10) にすることで増強し、残りの1回線は空けておき、後に増設することを計画していた。しかし、空けておいた残りの1回線を増設する計画が頓挫し、現在 (図 5-3-2. 10) のような架線状態に至っている。



[出所] JICA 調査団

図 5-3-2. 10 送電線の電線配列

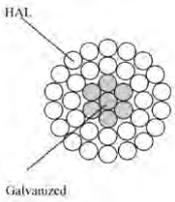
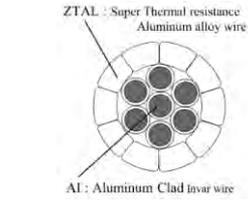
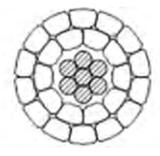
UETCL は、電線張替に伴って鉄塔設計や鉄塔改造に多額の費用が発生することに懸念を示していたが、建設当時の電力線が ACSR 175 mm² (Lynx) であったことから、この電線仕様に近い高熱容量低弛度電線を採用することができれば、鉄塔強度検討・鉄塔改造を最小限にして増容量化が可能となる。

ムコノ変電所 - ナマンベ変電所 - カンパラ北変電所間について、2030 年断面の潮流計算を行った結果、1,010 A 流せる電力線が必要であることが判明した。

ACSR 175 mm² (Lynx) 相当の高熱容量低弛度電線の調査を行ったところ、インバ電線若しくは GAP 電線 1 条で所要の電流容量と、電流容量増加による既設送電線の地上高さの低下を最小限にできることがわかった。よって、現状の架線条件に近い条件で、ACSR 125 mm² × 2 条から高熱容量低弛度電線 1 条に張替える。

GAP 電線の抵抗は、インバ電線とそれほど差異はなく、電力損失としては 4% の低減にとどまる。参考として、インバ電線とギャップ電線の緒元を表 5-3-2. 23 に示す。

表 5-3-2. 23 インバ電線およびギャップ電線の緒元 (参考)

| 名称 | 単位 | ACSR Lynx | インバ電線 | ギャップ電線 | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 撚り線構造 | Nos/mm | 30/2.79 - AL 7/2.79 - ST | 10/4.63 TW*1 - ZTAL*2 7/3.95 - Invar | 14/TW*1 - ZTAL*2 10/TW*1 - ZTAL*2 7/2.4 - Est*3 | |
| 外径 | mm | 19.53 | 19.4 | 19.0 | |
| 抗張力 | kN | 79.8 | 107.5 | 86.2 | |
| 断面積 | アルミ(AL) | mm ² | 183.4 | 168.4 | 207.9 |
| | 芯線(ST, Invar, Est) | | 42.8 | 85.8 | 31.67 |
| | 合計 | | 226.2 | 254.2 | 239.6 |
| 重量 | kg/km | 842 | 1075 | 844.8 | |
| 直流抵抗(20°C) | Ohm/km | 0.1576 | 0.1555 | 0.1421 | |
| 弾性係数 | 導体 | Gpa | 89.1 | 92.2 (遷移点*4以下) 155 (遷移点*4以上) | 80.8 |
| | 芯線 | | - | | 205.9 |
| 線膨張係数 | 導体 | 1/°C | 18.0 x 10 ⁻⁶ | 12.3 x 10 ⁻⁶ (遷移点*4以下) 3.6 x 10 ⁻⁶ (遷移点*4以上) | 19.1 x 10 ⁻⁶ |
| | 芯線 | | - | | 11.5 x 10 ⁻⁶ |
| 連続許容温度 | Deg. C | 75 | 210 | 210 | |
| 弛度(300m時) | m | 7.58 at 75°C | 7.68 at 210°C | 6.7 at 195.5°C | |
| 電流 | A | 497 at 75°C | 1010 at 210°C | 1010 at 195.5°C | |
| 断面図 | - |  |  |  | |
| Notes: | | | | | |
| *1: TW(台形型電線) | | | | | |
| *2: ZTAL(超耐熱アルミ合金撚り線) | | | | | |
| *3: Est(超高強度鋼線) | | | | | |
| *4: 電線に加わる電線張力が電線全体から抗張力部に移行する温度 | | | | | |
| ○弛度計算条件 (1) 常時張力: 抗張荷重の25%以下 + 周囲温度: 26°C(無風) (2) 最大使用張力: 抗張荷重の37%以下 + 周囲温度: 8°C + 風圧: 510Pa | | | ○電流計算条件 + 周囲温度: 35°C + 風速: 0.6m/s + 風向: 0 degrees + 日射量: 0.1W/cm ² + 放射率: 0.6 + 標高: 1200m + 周波数: 50Hz | | |

[出所] JICA 調査団

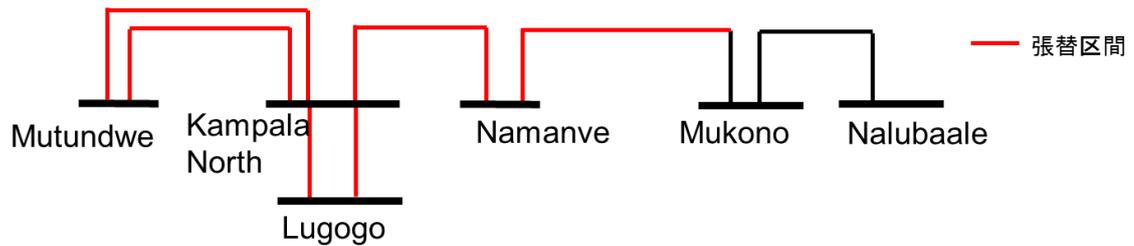
本案件を施工する際のナルバレ変電所からカンパラ北変電所間の系統図を図5-3-2. 11に示す。現状は、本区間にはナマンベ変電所しか分岐していないが、近い将来ムコノ変電所が新設され、多端子の系統となる。

増設工事(張替)にあたり、ムコノ変電所～ナマンベ変電所区間、ナマンベ変電所～カンパラ北区間の2つの区間に分割して工事を実施する。

工事中は、変電所間の送電線は停止するが、本系統は両端電源であるため、系統切替により変電所の長期間の停止は発生しない。

張替工事は、3 km から 4 km 毎にセクションを区切り、それぞれに電線を巻き取るエンジン場、電線を送り込むドラム場の架線基地を設置し、一般的に採用されており施工も単純な張力延線工法にて工事を実施する。

工事中の資機材の運搬は、コリドーを用いて行う。



[出所] JICA 調査団

図 5-3-2. 11 ムコノ変電所-ムトゥンドウエ変電所間 系統図

(6) カンパラ北変電所 - ムトゥンドウエ変電所間送電線張替

本送電線についても、第3章で述べたように、鉄塔部材、鉄塔基礎などの支持物は、経年による劣化は進んでおらず健全な状態であることを確認しており、支持物についても増設した電線資材と同程度の設備寿命が確保されることが推定される。

電力線は建設当時のままの ACSR 175 mm² (Lynx)、2 回線である。

潮流解析の結果、電力線は 140 MVA の容量が必要となることが必要であることが判明した。よって、同容量を満足し、鉄塔強度検討・鉄塔改造を最小限にできる(5)と同様の増容量電線を本送電線区間の電力線として採用する。

張替工事は、張力延線工法にて実施する。

工事中の資機材の運搬は、コリドーを用いて運搬を行う。

(7) カンパラ北変電所-ルゴゴ変電所

本送電線について、サイト状況調査により現状の送電鉄塔および基礎の状況を確認したところ、第3章で述べたように、鉄塔部材、鉄塔基礎などの支持物は、経年による劣化は進んでおらず健全な状態であることを確認した。したがって、支持物についても増強した電線資材と同程度の設備寿命が確保されることが推定される。

電力線は、ACSR 175 mm² (Lynx)、2 回線である。潮流解析の結果、電力線は 100 MVA の容量が必要となることが判明した。よって、同容量を満足し、鉄塔強度検討・鉄塔改造を最小限にできる(5)と同様の増容量電線を、本送電線区間の電力線として採用する。

張替工事は、張力延線工法にて実施する。

工事中の資機材の運搬は、コリドーを用いて運搬を行う。

(8) カンパラ北変電所 - ムトゥンドウエ変電所分岐点 - カワラ変電所 区間 132 kV 送電線新設

現在、カンパラ北変電所 - ムトゥンドウエ変電所分岐点 - カワラ変電所は、木柱を使用した T 分岐の 1 回線の架空送電線である。カワラ変電所の信頼度向上を図るため、カワラ変電所への引込方法を、現状の T 分岐引込からオープン引込に変更する必要がある。現状の引込ルート状況を図 5-3-2. 12 に示す。



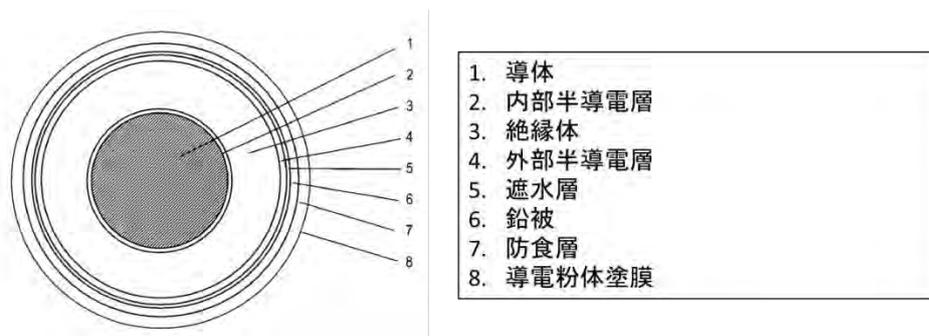
[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 12 カワラ変電所 引込ルート状況

環境影響上への配慮から、2回線の地中送電線でカワラ変電所に引込みを行う計画とする。

1) ケーブル選定

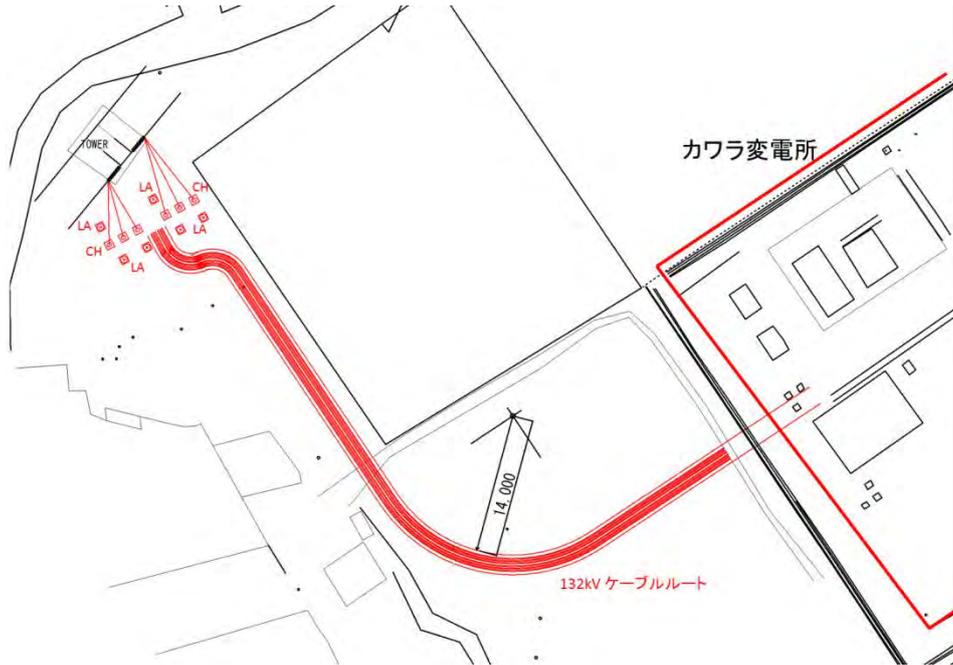
2030年断面の潮流計算結果より、本送電線は612Aを確保する必要があることから、ケーブルサイズは同容量を満足する630mm²となる見込みである。図5-3-2. 13にケーブルの断面図の例を示す。



[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 13 ケーブル断面図の例 (カワラ変電所引込用)

ケーブルへの分岐方法は、現在の分岐鉄塔 No.470 のすぐ横にケーブル引込用の架台を設置し、電力線から直接、架台の上の気中終端箱 (Cable Head: CH) へ引込み、地中ケーブルを経てカワラ変電所へ引込を行う。カワラ変電所内において、ガス中終端箱にて、縮小型ガス絶縁開閉装置へ接続を行う。なお、雷による地中ケーブルの損傷を防ぐため、気中終端箱の横に避雷装置 (LA) を設置する。図5-3-2. 14に132 kV ケーブルルートを示す。



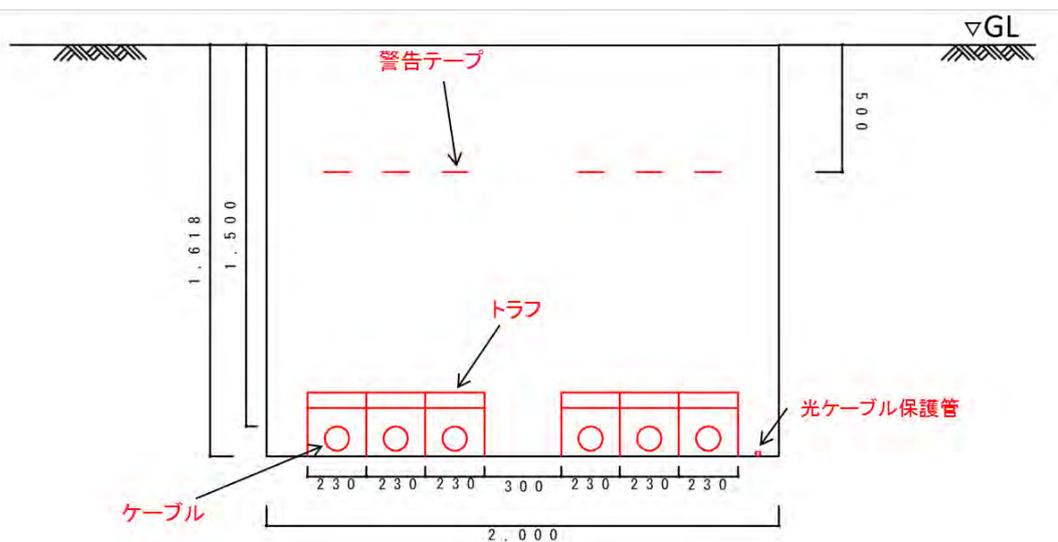
[単位：mm]

[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 14 132 kV ケーブルルート (カワラ変電所引込用)

2) 布設方式

布設方式としては、直接埋設式、管路式等が考えられるが、直接埋設式は管路式と比較し、熱拡散が良いため許容電流が大きく、建設工事費が安い。よって、直接埋設式を採用する。トラフは、コンクリート製とし、トラフ内部に砂を詰めて埋設する。雨による土壌の浸食を考慮し、ケーブルの埋設深さは、1.5 m とする。図5-3-2. 15 に埋設方法を示す。



[単位：mm]

[出所] JICA 調査団

図5-3-2. 15 132 kV ケーブル埋設方法

なお、本工事の施工においては、全停電が可能であることから、ケーブル布設の際には木柱を撤去し、既存のルートの利用地を作業場として確保する。

(9) 調査団からの提言

本事業の実施にあたり、送電設計の検討に付随して明らかとなった留意すべき事項等を以下に提言としてまとめた。

1) 架空地線のサイズについて

既設 220kV 送電線の架空地線のサイズは 55 mm² 程度であり、故障発生時（地絡時）の瞬時電流に対し十分な容量を確保できないと考える。今回新設する送電線は既設送電線からの分岐で、距離も本線に比べて短く、より太いサイズの地線を選定しても線路全体へ効果は限定的であることから、既設送電線の仕様に合わせて選定したが、将来、架空地線を張替える機会があれば、故障発生時の瞬時電流を十分許容できる 150 mm² 程度のサイズの架空地線を選定することを推奨する。

2) クリアランスの標準について

クリアランスについては、既設の送電線の技術仕様書を確認すると、送電線を建設したコンサルタントによって異なっており、統一されていない。よって、UETCL が独自のクリアランスの標準を作成し、今後の送電線建設工事の設計に適用することを推奨する。

5-3-3 施設計画

(1) 変電設備の設計条件

変電施設の設計条件を以下表 5-3-3. 1 及び表 5-3-3. 2 に示す。
地質調査で求めた地耐力及び圧密沈下量を考慮し以下の使用とする。

表 5-3-3. 1 施設設計の基本条件（カワラ変電所）

| 項目 | | 設計条件 |
|-------|----|------------------------------------|
| 標高 | | 1195 m |
| 気温 | 最高 | 36 °C |
| | 最低 | 12 °C |
| | 平均 | 23 °C |
| 最高風速 | | 30 m/s |
| 年間降水量 | | 1,265 mm/年 |
| 地震荷重 | | 水平 0.15 G |
| 地耐力 | | 120 kN/m ² (既存 GL-3.5m) |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-3. 2 施設設計の基本条件（プロバ変電所）

| 項目 | | 設計条件 |
|-------|----|------------------------------------|
| 標高 | | 1185 m |
| 気温 | 最高 | 36 °C |
| | 最低 | 12 °C |
| | 平均 | 23 °C |
| 最高風速 | | 30 m/s |
| 年間降水量 | | 1,265mm/year |
| 地震荷重 | | 水平 0.15 G |
| 地耐力 | | 150 kN/m ² (既存 GL-2.0m) |

[出所] JICA 調査団

(2) 変電設備の要件

設計 GL (グランドレベル) は洪水及び圧密沈下の対策として、既存 GL から 1.0 m 上げる必要がある。プロジェクトサイトの周りに擁壁を構築する必要がある。

1) 制御棟の概要

制御棟の概要を以下表 5-3-3. 3 及び表 5-3-3. 4 に示す。

ケーブルピットの高さを確保するために、設計 GL を既存 GL レベルから 1.0 m 上げる。

表 5-3-3. 3 制御棟建屋の概要 (プロバ変電所)

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリートラーメン構造 | |
| 階高 | 2 階 BFL-GFL=2.65 m GFL-RFL=4.0 m | 地階: ケーブルピット, 貯水槽 4 トン, 給水ポンプ, 排水ポンプ 1 階: 事務室, 開閉器室, 制御室, 発電機室, 所内変圧器室, バッテリー室, トイレ, シャワー室, 給湯室, 廊下等 |
| 延床面積 | 約 1,120 m ² (≒1116 m ²) | - |
| 建築面積 | 約 756 m ² | - |
| 外装 | 壁仕上げ | ウレタン塗装仕上げ |
| | 屋根仕上げ | コンクリートプレート t=80 mm ワイヤーメッシュ @200 mm ウレタンジョイント @2,000 mm 断熱材 t=50 mm アスファルト防水 3 層防水 |
| 内装 | 壁仕上げ | 金鍍仕上げの上塗装 |
| | 床仕上げ | フリーアクセス式床 h=300 mm 磁器タイル 300 x 300 mm |
| | 天井 | ジブサムボード仕上げ t=12 mm |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-3. 4 制御棟建屋の概要 (カワラ変電所)

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリートラーメン構造 | |
| 階高 | 3 階 BFL-GFL=2.65 m GFL-1FL=4.0 m 1FL-RFL=4.0 m | 地階: ケーブルピット, 貯水槽 4 トン, 給水ポンプ, 排水ポンプ 1 階: 事務室, 開閉器室, 発電機室, 所内変圧器室, バッテリー室, 廊下, 階段 2 階: 制御室, 廊下, 階段, トイレ, シャワー室, 給湯室 緊急バルコニー: 緊急脱出口 |
| 延床面積 | 約 1000 m ² (≒990m ²) | - |
| 建築面積 | 約 330 m ² | - |
| 外装 | 壁仕上げ | ウレタン塗装仕上げ |
| | 屋根仕上げ | コンクリートプレート t=80 mm ワイヤーメッシュ @200 mm ウレタンジョイント @2,000 mm 断熱材 t=50 mm アスファルト防水 3 層防水 |
| 内装 | 壁仕上げ | 金鍍仕上げの上塗装 |
| | 床仕上げ | フリーアクセス式床 h=300 mm 磁器タイル 300 x 300 mm |
| | 天井 | ジブサムボード仕上げ t=12 mm |

[出所] JICA 調査団

2) 変圧器の基礎

変圧器の基礎概要を以下表 5-3-3. 5 および表 5-3-3. 6 に示す。

設計 GL (グラウンドレベル) は洪水及び圧密沈下の対策として、既存 GL から 1.0 m 上げる必要がある。

表 5-3-3. 5 220/132kVx2 か所と 132/33kVx2 か所 変圧器の基礎概要 (プロバ変電所)

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリート | - |
| 階高 | 1 階 | 屋外: 容量 125 MVA 主変圧器 2 基、40 MVA 主変圧器 2 基 [備考] 設計 GL (グラウンドレベル) は洪水及び圧密沈下の対策として既存 GL から 1.0 m 上げる必要がある。 防火壁: コンクリート壁 H=7.5 m, L=9.0 m, t=250 mm、1 基 オイルピット: 変圧器基礎周囲 D=1.5 m 砂利層, 基礎西側のオイルセパレータにオーバーフローパイプは接続すること ケーブルカルバート 500 mm x 900 mm |
| 延床面積 | 約 132 m ² | - |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-3. 6 132/33kVx 3 か所と 132/11kVx1 か所 変圧器の基礎概要 (カワラ変電所)

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリート | - |
| 階高 | 1 階 | 屋外: 容量 40 MVA 主変圧器 3 基、容量 20 MVA 主変圧器 1 基 [備考] 設計 GL (グラウンドレベル) は洪水及び圧密沈下の対策として既存 GL から 1.0 m 上げる必要がある。 防火壁: コンクリート壁 H=7.5 m, L=9.0 m, t=250 mm、3 基 オイルピット: 変圧器基礎周囲 D=1.5 m 砂利層, 基礎西側のオイルセパレータにオーバーフローパイプは接続すること ケーブルカルバート 500 mm x 900 mm |
| 延床面積 | 約 72 m ² | - |

[出所] JICA 調査団

3) ガス絶縁開閉装置 (GIS) の基礎

ガス絶縁開閉装置の基礎概要は下記表 5-3-3. 7 に示す。

設計 GL (グラウンドレベル) は洪水及び圧密沈下の対策として既存 GL から 1.0 m 上げる必要がある。

表 5-3-3. 7 開閉装置の基礎概要（カワラ変電所）

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリート | - |
| 階高 | 1 階 | 地階: 132 kV ケーブル用ピット 屋外: GIS 防火壁: 不要 [備考] 設計 GL (グラウンドレベル) は洪水及び 圧密沈下の対策として既存 GL から 1.0 m 上げる必要がある。 |
| 延床面積 | 約 50 m ² | - |

[出所] JICA 調査団

4) ケーブルカルバート

ケーブルカルバートの概要は下記表 5-3-3. 8 に示す。

表 5-3-3. 8 ケーブルカルバート基礎の概要（カワラ変電所）

| 項目 | 内容 |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| ケーブルカルバート 容量 40 MVA 及び 20 MVA 主変圧器から制御棟建屋まで | 強化コンクリートボックスカルバート ケーブルラック付、約 26 m ² (W=1.7 m, H=2.0 m) |

備考: W=ケーブルカルバートの幅
H=ケーブルカルバートの高さ

[出所] JICA 調査団

5) 送電線の鉄塔基礎

132 kV 送電線の鉄塔基礎概要は下記表 5-3-3. 9 及び表 5-3-3. 10 に示す。

表 5-3-3. 9 送電線の鉄塔基礎概要（カワラ変電所）

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|----|------------|-----------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリート基礎 | 2 回線, 132kV ケーブル, 1 基 |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-3. 10 送電線の鉄塔基礎概要（プロバ変電所）

| 項目 | 内容 | 詳細 |
|----|------------|-----------------------------|
| 構造 | 鉄筋コンクリート基礎 | 2 回線, 220kV 鉄塔 H= 40 m, 4 基 |
| | | 2 回線, 132kV 鉄塔 H= 40 m, 3 基 |

備考: H=鉄塔高さ

[出所] JICA 調査団

5-3-4 本邦技術の優位性と本事業への活用の可能性

本事業はウガンダ国カンパラ首都圏を対象としており、変電設備、送電設備用機材には以下が要求される。

(i) 変電設備

- カワラ変電所においては、既設変圧器容量は 20 MVA であるが、本事業において、同じ敷地に 140 MVA の変圧器容量を有する変電設備を設計する必要がある。そのため、必要となる面積を最小限に限定できる変圧器直結型の GIS の採用が必要となる。
- 新ムコノ変電所においては、森林保護区内の限られた敷地内に建設される必要があり、また空気汚染による絶縁劣化に対する耐久性を考慮する必要となるため、開閉設備の

極小化の可能なガス絶縁開閉装置が 220 kV および 132 kV 双方の電圧階級に必要となる。

- ▶ カンパラ首都圏内における UETCL の管理する変電所において変圧器の更新や、事故発生時に、移動変電所が必要となる。当該区域内の道路条件などを考慮の上で、確実な移動性を有し、かつ所定の設備容量を有する移動変電所が不可欠となる。

(ii) 送電設備

- ▶ 増大する電力需要に対応するための送電線容量が確保される必要がある一方で、カンパラ首都圏はウガンダ国随一の人口密集地域であるため、送電線路の新規取得が困難である。このため、既設送電線と同等の寸法を有しながらも、送電容量の増強が達成されている、高熱容量低弛度電線の活用により、既設鉄塔を最大限活用することにより送電容量を増強することが可能である。

以上の機材選定の留意点を踏まえ、設計の実現に重要な役割を果たす機材の調達に必要な入札事前資格審査要件案、および要求仕様を示す。

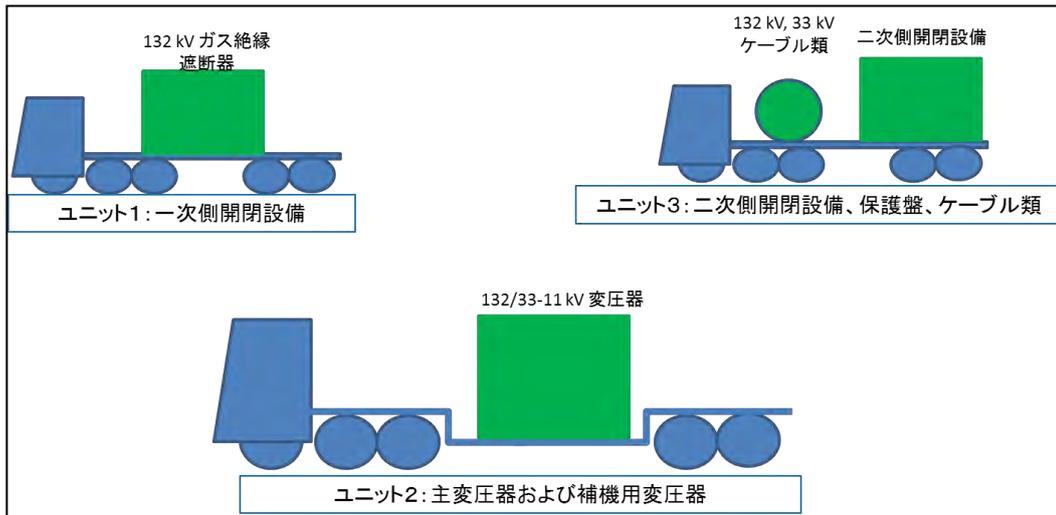
(1) 移動変電所

1) 機材選定に係る基本方針

本事業はカンパラ首都圏の電力流通設備の増強・改修であるため、対象地域の特性に即した機材選定が必要である。

我が国では、一般道路移動に関する規制が厳しく、車両の総重量を 22 トン以下に維持することが義務付けられている。このような背景もあり、本邦の移動変電所は小型で高容量の移動式変電設備の技術を開発してきた。

本事業により調達される移動変電所の活用はカンパラ市内（都市部）を含むウガンダ国全土であり、車幅などの面で、移動に関する道路条件が制限される上に、ウガンダ道路公社（UNRA）の規定に基づき、車両重量制限が課せられるため、移動変電所に搭載される変電設備の重量、寸法は厳しく制限される。そのため、移動変電所の変電設備、開閉設備などに分離型を採用することで、移動性を確保しつつ、高い変圧器容量を確保することが可能となる。図 5-3-4. 1 に移動変電所の構成案を、表 5-3-4. 1 に要求仕様案を示す。本事業では、対象地域の道路状況を踏まえ、この方式を採用する方針とする。



[出所] JICA 調査団

図 5-3-4. 1 移動変電所システム構成案

2) 入札事前資格審査要件 (案)

本事業で要求される移動変電所の一次側電圧を考慮し、132 kV を超える電圧階級の移動変電所の納入実績を有することが、入札参加に不可欠である。そのため、入札事前資格として次を要件とする。

- 少なくとも 5 件以上の電圧階級 66 kV 以上（内、1 件は電圧階級 132 kV 以上）の移動変圧器の納入経験を有すること。
- 少なくとも 15 年以上の変圧器製造実績を有すること。（132 kV またはそれ以上）
- 少なくとも 5 件以上の移動変電所納入実績証明を提出すること。
- ISO または同等の証明を受けている実験施設により証明された、雷インパルス試験を含む型式試験報告書を提出すること。

3) 入札仕様 (案)

前項の機材選定に関わる基本方針に基づき、特に留意すべき仕様を以下に示す。

- 首都圏における可搬性を確保しつつ高容量を実現するため、開閉設備と変電設備が別々のトレーラーに具備された形式の移動式変電設備
- 最大勾配 12%、15m 幅の幹線道路から 7.5m 幅の道路への進入の実現
- 騒音水準の規定（70 dB 以下に制限できること）

表 5-3-4. 1 移動変電所の仕様概要 (案)

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|---------------------|----------------|--------------------------------------------------------|
| <共通仕様> | | |
| (1) | 適用規格 | IEC または同等規格 |
| (2) | 移動変電所構成 | 首都圏の道路事情を踏まえ、開閉器・変圧器・二次開閉器／補機等から構成される分割型とすること。 |
| (3) | 運搬条件 | 引渡しの際は、必要とされるサイトで適時使用できるよう待機できる状態であること。(全装可搬式であること。) |
| (4) | 接続方式 | 一次開閉器・変圧器の間の接続は、ケーブルまたは架空線接続とする。 |
| (5) | SCADA 用信号 | SCADA ターミナルユニットを具備すること。 |
| (6) | ローカルモニタリングシステム | 移動用変電所の運転監視(電圧・電流・周波数・有効電力・電力量など)および制御を行うための設備を具備すること。 |
| (7) | 標高 | 1,000 m ~ 1,500 m の環境で使用できること。 |
| (8) | 付属機材 | 移動式支持碍子および避雷器、開閉器・変圧器間接続用電力ケーブルなど |
| (9) | 耐地震荷重 | 0.3G (共振正弦 3 波) |
| (10) | 移動時耐荷重 | 3G (マラム) |
| (11) | その他 | 振動記録計を具備すること。 |
| <変圧器> | | |
| (1) | 変電容量 | 20 MVA |
| (2) | 定格電圧 | 一次側：132 kV 二次側：33 - 11 kV(選択可能) |
| (3) | タップポジション | 一次側 |
| (4) | タップ範囲 | 132 kV +5%/-12.5% |
| (5) | タップ数 | 17 タップ |
| (6) | 接地方式 | 一次側：中性点直接接地 二次側：直接接地 |
| (7) | 補機変圧器 | |
| | - 一次側電圧 | 33 - 11 kV (選択可能) |
| | - 二次側電圧 | 0.4 kV |
| | - 変圧容量 | 100 kVA |
| (8) | 冷却方式 | 導油風冷 (ODAF) |
| (9) | インピーダンス | メーカー標準とする。 |
| (10) | 絶縁油タンク | 三相短絡事故発生時の異常内部圧力上昇に耐えること。 |
| (11) | その他 | 輸送中は 3G に耐えること。 |
| <開閉設備> | | |
| (1) | 電圧 | 132 kV (一次側)、33 - 11 kV (二次側) |
| (2) | 遮断方式 | ガス絶縁開閉方式(GIS) |
| (3) | 絶縁方式 | SF ₆ |
| (4) | 二次側フィーダー数 | 2 |
| (5) | ガス圧 | 0.15 MPa 以下 (移動時及び稼働時) |
| (6) | ガス漏えい率 | 0.1%/年 以下 |
| (7) | その他 | 二次側開閉設備については 1 トレーラー、または、変圧器に具備させること。 |
| <車両> | | |
| (1) | 最大勾配 | 12% (舗装路) |
| (2) | 旋回半径 | 幅員 15m の幹線道路から幅員 7.5 m に直角に進入可能であること。 |
| (3) | 車両重量 | 56 トン以下 |
| (4) | 最大軸重 | 業者指定、但し 8 トン以下 |

[出所] JICA 調査団

(2) ガス絶縁開閉装置 (GIS)

1) 機材選定に係る基本方針

本事業対象地域のカンパラ首都圏は、今後も需要の増大に伴う継続した流通設備開発が必要であるが、人口密集地帯である首都圏であるため、用地取得がその大きな障害となる。

ガス絶縁開閉装置は、充電部に密閉構造を形成し、六フッ化硫黄を絶縁ガスとして封入することにより、離隔距離を大幅に低減することが可能な開閉設備であり、用地取得を軽減することが可能である。

さらに、変圧器と接続部も六フッ化硫黄ガスが封入された密閉容器を介した接続とすることで、更なる省スペース化が図れる。特に、カワラ変電所は既存の限られた敷地に大幅に設備容量が増強された設備を据え付けることになるため、この構造の採用が有効である。

一方、GIS は、充電部が密閉構造であるため、環境耐性の面でも空気絶縁方式と比較して設備の安定度が高いという特性を有しているため、高い電力供給信頼性の要求される電圧階級 220 kV の新ムコノ変電所において採用される必要がある。そのため、ガス絶縁開閉装置 (GIS) に対する製品型式検査、出荷前の工場検査実施に際し、IEC 規格を超える厳格な社内基準が設けられており、ガス漏えい率などの数値にて高品質が確保されている機材が必要になる。さらに、ガス漏えい率の低下はメンテナンスの頻度を減らすことにつながる可能性が高い。GIS の場合はメンテナンスに必要となる労力・経費が気中開閉器と比べて大掛かりになるため、結果的に運転維持管理費用の削減が期待できる。

以上を踏まえ、入札事前資格審査要件 (案)、入札仕様 (案) を下記のとおりとする。

2) 入札事前資格審査要件 (案)

- ▶ 表 5-3-4. 2 及び表 5-3-4. 3 に示す仕様を満たす GIS の製造実績を 15 年以上有すること。
- ▶ 電力会社からの 5 件以上の調達証明を提出すること。
- ▶ ISO または同等の証明を受けている実験施設により証明された、雷インパルス試験を含む型式試験報告書を提出すること。

3) 入札仕様 (案)

主な使用は以下のとおり。

- ▶ 変圧器と直結構造が可能であること。(カワラ変電所に適用)

表 5-3-4. 2 および表 5-3-4. 3 にガス絶縁開閉装置の要求仕様を示す。

表 5-3-4. 2 132 kV ガス絶縁開閉装置の仕様概要 (案)

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|-----|-------|------------------|
| (1) | 適用規格 | IEC, JEC または同等規格 |
| (2) | モデル | 屋外用 |
| (3) | 母線方式 | 複母線方式 |
| (4) | ガス漏洩率 | 0.1%以下 / 年 |
| (5) | 定格電圧 | 145 kV |

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|------|------------------|-------------------------------|
| (6) | 定格電流 | 詳細設計により通知 |
| (7) | 定格遮断電流 | 31.5 kA |
| (8) | 定格短時間耐電流 | 31.5 kA (3 sec.) |
| (9) | 定格雷インパルス耐電圧 | 650 kV |
| (10) | 定格商用周波耐電圧 (1 分間) | 275 kV |
| (11) | 再閉路機能 | 三相一括操作 |
| (12) | 動作シーケンス | O-0.3 sec.-CO-3 min.-CO |
| (13) | 計器用変流器 | 6 CTs/phase |
| (14) | 計器用変圧器 | 3 CVTs/phase |
| (15) | 輸送時耐荷重 | 3G |
| (16) | 耐地震荷重 | 0.3G (共振正弦 3 波) |
| (17) | その他 | ローカル盤に仮設足場等を設けることなくアクセスできること。 |

[出所] JICA 調査団

表 5-3-4. 3 220 kV ガス絶縁開閉装置の仕様概要 (案)

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|------|------------------|---------------------------------|
| (1) | 適用規格 | IEC, JEC または同等規格 |
| (2) | モデル | 屋外用 |
| (3) | 母線方式 | 複母線方式 |
| (4) | ガス漏洩率 | 0.1%以下 / 年 |
| (5) | 定格電圧 | 245 kV |
| (6) | 定格電流 | 詳細設計により通知 |
| (7) | 定格遮断電流 | 40.0 kA |
| (8) | 定格短時間耐電流 | 40.0 kA (3 sec.) |
| (9) | 定格雷インパルス耐電圧 | 詳細設計により通知 |
| (10) | 定格商用周波耐電圧 (1 分間) | 詳細設計により通知 |
| (11) | 再閉路機能 | 三相一括操作 |
| (12) | 動作シーケンス | O-0.3 sec.-CO-3 min.-CO |
| (13) | 計器用変流器 | 6 CTs/phase |
| (14) | 計器用変圧器 | 3 CVTs/phase |
| (15) | 輸送時耐荷重 | 3G |
| (16) | 耐地震荷重 | 0.3G (共振正弦 3 波) |
| (17) | その他 | - ローカル盤に仮設足場等を設けることなくアクセスできること。 |

[出所] JICA 調査団

(3) 変圧器

1) 機材選定に係る基本方針

狭小な敷地を有するカワラ変電所への変圧器増設のため、ガス絶縁開閉装置と直結される変圧器を採用する。また、ウガンダにおける地震及びモンバサ港からの 1,000 km を超える陸路輸送時の振動に十分に耐え得る機材を選定する。

2) 入札事前資格審査要件 (案)

- 一次側電圧が 132 kV 以上の変圧器の納入実績を 5 件以上有すること。
- 少なくとも 15 年以上の製造実績を有すること。
- 電力会社からの 5 件以上の調達証明を提出すること。

- ISO または同等の証明を受けている実験施設により証明された、雷インパルス試験を含む型式試験報告書を提出すること。

3) 入札仕様（案）

主な使用は以下のとおり。

- 騒音水準の規定（70 dB 以下に制限できること）

表 5-3-4. 4 変圧器の仕様概要（案）

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|------|----------|-------------------------|
| (1) | 適用規格 | IEC, JEC または同等規格 |
| (2) | 変電容量 | サイトにより異なる。 |
| (3) | 定格電圧 | サイトにより異なる。 |
| (4) | タップポジション | 一次側 |
| (5) | タップ範囲 | +5%/-12.5% |
| (6) | タップ数 | 17 タップ |
| (7) | 接地方式 | 一次側：中性点直接接地 二次側：直接接地 |
| (8) | 補機変圧器 | |
| | - 一次側電圧 | 33 kV |
| | - 二次側電圧 | 0.4 kV |
| | - 変圧容量 | 100 kVA |
| (9) | 冷却方式 | ONAN / ONAF |
| (10) | インピーダンス | メーカー標準とする。 |
| (11) | 移動時耐荷重 | 3G |
| (12) | 耐地震荷重 | 0.3G（共振正弦 3 波） |
| (13) | 標高 | 1,000 m 以上 1,500 m 以下 |

(4) 高熱容量低弛度電線

1) 機材選定に係る基本方針

通常、電線容量増大を図るためには鉄塔建替えを行うが、本計画対象地域のカンパラ首都圏は、人口密集地帯である首都圏であるため、用地取得がその大きな障害となる。準備調査の結果、本事業で増容量化を想定している区間の送電線は住宅密集地を通過しており、新たな用地取得を伴う鉄塔建替が困難であることが確認された。高熱容量低弛度電線は、既存送電線の地上高さの低下を最小化して、高電流容量を確保できるため、既存の鉄塔改造等を最小限にしつつ大幅な送電路の増容量化が図れる長所がある。本事業では、対象地域における社会影響を極限化しつつ、送電容量の増強を実現することを目的とし、高熱容量低弛度電線を活用する方針とする。

2) 入札事前資格審査要件（案）

表 5-3-4. 5 (10)、(11) 参照。

3) 入札仕様（案）

特に留意すべき仕様を以下に示す。

- 既設鉄塔への荷重を増やすことなく張り替え可能であること。

表 5-3-4. 5 高熱容量低弛度電線の仕様概要 (案)

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|-------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) (2) (3) | 適用規格 形式 定義 | IEC, JEC または同等規格 ギャップ電線もしくはインバ電線 ギャップ電線: |
| (4) | 材質 | 芯線部に超高強度亜鉛メッキ鋼、導体部に超耐熱アルミ合金撚り線 (AT3*IEC62004) を採用し、高温時でも低弛度特性が得られる。 インバ電線: 芯線部にアルミ被覆インバ芯、導体部に超々耐熱アルミ合金撚り線 (AT4*IEC62004) を採用し、高温時でも低弛度特性が得られる。 |
| (5) (6) | 公称径 抗張力(UTS) | ギャップ電線: 超耐熱アルミ合金撚り線 (導体部) 超高強度亜鉛メッキ鋼 (芯線部) 耐熱潤滑油 インバ電線: 超々耐熱アルミ合金撚り線 (導体部) ※AT4 アルミ被覆インバ芯 (芯線部) |
| (7) | 連続許容電流 | Lynx 相当 以下条件①から条件②に変化したとき最大使用張力が Lynx UTS (79.8 kN)の 30 %以下となる UTS 条件①: 常時(EDS) 常時張力: Lynx UTS の 20 %以下 電線温度: : 26 °C 風圧: 0 Pa 条件②: 最悪時 最大使用張力: Lynx UTS (79.8 kN)の 30 %以下 周囲温度: 8 °C 風圧: 510 Pa |
| (8) | 弛度条件 (径間長 300m) | 1010 A 以上 <電流容量計算条件> ① 周囲温度: 35 °C ② 風速: 0.6 m/s ③ 風向: 0 度 ④ 日射量: 0.1 W/m ² ⑤ 放射率: 0.6 ⑥ 標高: 1,200 m ⑦ 周波数: 50 Hz 1) 以下条件①から条件②に変化したとき最大使用張力が Lynx UTS (79.8 kN)の 30 %以下 2) 以下条件①から条件③に変化したときの Lynx 最大弛度 + 0.8 m (8.4 m※径間長 300 m)以下 条件①: 常時(EDS) 常時張力: Lynx UTS の 20 %以下 電線温度: : 26 °C 風圧: 0 Pa 条件②: 最悪時 最大使用張力: Lynx UTS (79.8 kN)の 30 %以下 電線温度: 8 °C 風圧: 510 Pa 条件③: 最大弛度 電線温度: HTLS (1,010 A 通電時の電線温度) Lynx (電線温度 75 °C) 風圧: 0 Pa |

| 番号 | 項目 | 仕様 |
|------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (9) | 電線張替後の鉄塔健全性 | 以下による既設鉄塔の強度不足を確認し、鉄塔補強工事を行い、電線張替後において、送電線の支持物として健全性が確保できていること。 ① 電線張替による架線条件の変更 ② 既設鉄塔の鋼材腐食 ③ 鉄塔基礎の不同変位量及び鉄塔部材の変位量 ④ 鉄塔鋼材の強度劣化 |
| (10) | 製造実績年数 | 15年以上 |
| (11) | 特殊工具／技術者による指導 | ギャップ電線のみ必要 |

[出所] JICA 調査団

なお、既存の鉄塔に不具合がある場合は、UETCL が改修する。

第6章 事業実施体制及び運転維持管理体制

6-1 事業実施体制

本事業が採択された場合、UETCL が本事業の実施機関となる。準備調査段階から EPC 業者契約締結までに実施することとなる概略設計、基本設計については、UETCL の計画・投資部門が従事する。一方、同契約が締結され、詳細設計、据付工事、試運転、機材引渡しまでの実施段階については、UETCL のプロジェクト推進部門が担当する。EPC 業者から UETCL へ機材引渡しが行われた後は、運転維持管理については運転維持管理部門に責任所掌が移管され、資産管理は財務・会計・販売部門へ移管される。

本事業は借款契約が両政府間で締結された後、UETCL が事業実施の権限を与えられる。UETCL の総裁 (MD/CEO) は、UETCL の取締役会 (Board of Directors) から承認を得た後、UETCL の代表としてコンサルタント及び EPC 業者との契約を締結する。総裁は、実施機関である UETCL の総責任者として、事業実施に係る計画、設備設計等の承認を行う。

総裁は、本事業の管理責任を担うプロジェクトマネージャーとして、UETCL のプロジェクト推進部長を任命する。プロジェクトマネージャーは、事業実施の責任者として、工事工程管理、承認照査、関係機関との調整、総裁への報告等の業務を遂行する。また、UETCL では、本事業の実施にあたっては円滑な事業運営を目的とし、各部門からエンジニアが選定され、表 6-1. 1 に示すプロジェクト推進チーム (Project Implementation Unit) が形成される。

なお、資金管理及び支払管理については、契約書に規定される必要書類の準備状況をプロジェクトマネージャーが確認した後、総裁からの支払決裁を受け、財務・計画・経済開発省へ支払依頼が行われる。また、環境手続きの承認機関は NEMA であるが、このような関連機関に対するプロジェクトの公式な承認申請についても、プロジェクトマネージャーが総裁からの決裁を受けつつ進める形となる。

表 6-1. 1 本プロジェクト実施に係るプロジェクト・チーム構成

| 要員 | 所属部門 |
|------------------|----------------------|
| ①プロジェクトマネージャー | プロジェクト推進部門 |
| ②土木技術者 | プロジェクト推進部門 |
| ③電気技術者 | プロジェクト推進部門 |
| ④環境社会配慮チーム | プロジェクト推進部門 |
| ⑤設計チーム | プロジェクト推進部門または計画・投資部門 |
| ⑥用地取得チーム | プロジェクト推進部門 |
| ⑦維持管理技術者 (必要な場合) | プロジェクト推進部門または計画・投資部門 |
| ⑧IT 技術者 (必要な場合) | 維持管理部門 |

[出所] UETCL からの聴取に基づき JICA 調査団作成

表 6-2-2. 1 コンポーネント 1 工程表

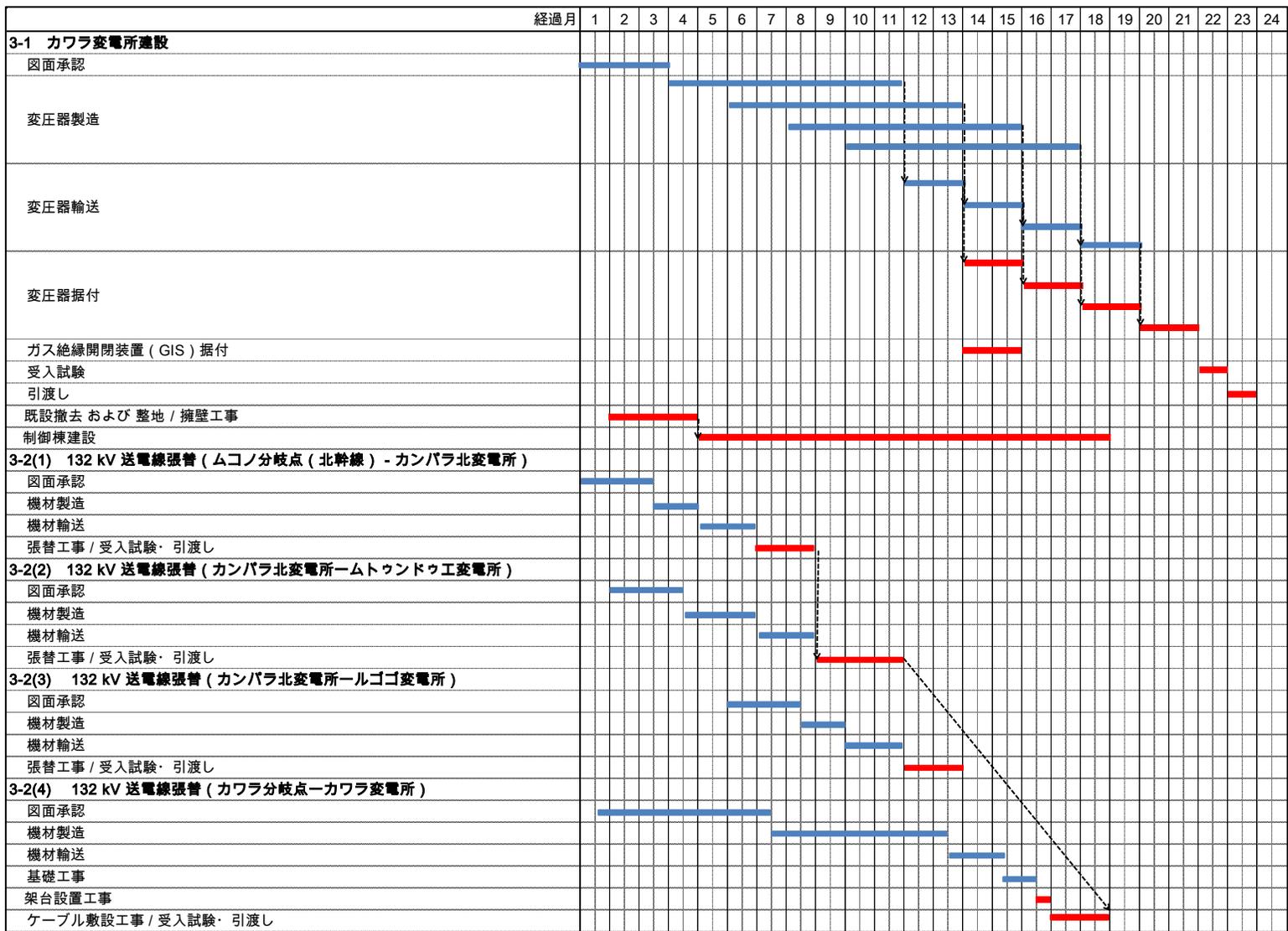
| 経過月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 1-1 プロバ変電所建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器製造 | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器輸送 | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 変圧器据付 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| 受入試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 整地・擁壁工事 (変電所用地) | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 整地・擁壁工事 (アクセス道路) | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アクセス道路建設 | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 構内道路建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 制御棟建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-2 220 kV 送電線 (プロバ分岐点-プロバ変電所) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 基礎工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鉄塔建設工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 張替工事 / 受入試験・引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-3 132 kV 送電線 (プロバ分岐点-プロバ変電所) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 基礎工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鉄塔建設工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 張替工事 / 受入試験・引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 6-2-2. 2 コンポーネント 2 工程表

| 経過月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|-----------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2-1 新ムコノ変電所建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器製造 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器輸送 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器据付 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 220 kV および 132 kV ガス遮断開閉装置据付 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器受入試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 変圧器引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 132 kV ケーブル敷設工事 (新ムコノ変電所-ムコノ変電所) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 整地・擁壁工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アクセス道建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 構内道路建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 制御棟建設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2-2 220 kV 送電線 (新ムコノ分岐点-新ムコノ変電所) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 132 kV 送電線ガントリー用基礎工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 132 kV 送電線用ガントリー建設工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 220 kV 引込鉄塔用基礎工事/220 kV 鉄塔基礎工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 220 kV 引込鉄塔建設工事/220 kV 鉄塔建設工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 張替工事 / 受入試験・引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2-3 132 kV 送電線 (新ムコノ変電所-新ムコノ分岐点 (南幹線)) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 基礎工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鉄塔建設工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 張替工事 / 受入試験・引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[出所] JICA 調査団

表6-2-2. 3 コンポーネント3工程表



[出所] JICA 調査団

表6-2-2. 4 コンポーネント4工程表

| 経過月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 4-1 ブジャガリ変電所改修 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 据付工事 | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 受入試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| 引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| 4-2 ムトゥンドゥ工変電所改修 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 基礎工事、ケーブル掘削工事 | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 据付工事 | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 受入試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 引渡し | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |

[出所] JICA 調査団

表6-2-2. 5 コンポーネント5工程表

| 経過月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 5-1 移動変電所調達 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 図面承認 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 機材製造 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 機材輸送 | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 受入試験/現地運用トレーニング | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | |

[出所] JICA 調査団

(2) 事業実施に伴う計画停電実施区間と最小化

工程計画においては、送電線張り替え工事や既設変電所の更新工事を同時期に施工することを避けることにより、カンパラ首都圏における計画停電を最小化するように計画した。要求される計画停電は大きく2つに分類される。ひとつは、工事期間中に相当する比較的長い期間要求される場合であり、もうひとつは、系統接続時などにみられるように、短時間の停電が要求される場合である。以下、各コンポーネント実施に要求される停電箇所及び期間を示す。なお、ここでの計画停電の定義は、下表で示されている変電所の該当フィーダの遮断器の開とする。

1) コンポーネント1の停電計画

ブロバ変電所新設が対象となる同コンポーネントは、既設設備の計画停電の期間が最も短い。既設 220 kV 送電線路及び 132 kV 送電線路と接続される分岐鉄塔を建設する際にそれぞれ 0.5 ヶ月（合計 1 ヶ月）の計画停電が要求される。当該送電線の計画停電時、負荷はカワ ندا変電所ームトゥンドウエ変電所間送電線をはじめとする周囲の送電線に分担されるが、既設送電線の送電容量を鑑み、電力供給を継続することが可能と考えられる。但し、想定を超える負荷が発生した場合はバイパス鉄塔の建設による工事期間中の計画停電の緩和を図る方針とする。

鉄塔基礎に伴う土工事については重機を使用せず、人力によって建設することにより、この期間の計画停電は発生しないよう留意した。対象区間の停電計画を表 6-2-2.6 に示す。

表 6-2-2.6 ロット1実施に係る計画停電

| 計画停電範囲 | EPC 契約からの経過月 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| 1. 変電所 該当なし | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 220 kV 送電線路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カワ ندا変電所ーマサカ変電所 ① | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カワ ندا変電所ーマサカ変電所 ② | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 132 kV 送電線路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ムトゥンドウエ変電所ーカブラソケ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[凡例]  : 停電期間 (24時間)

[出所] JICA 調査団

2) コンポーネント2の停電計画

ブジャガリ変電所ーカワ ندا変電所間 220 kV 送電線路よりダブルパイで新ムコノ変電所へ分岐する計画であるため、コンポーネント1と同様に鉄塔組立及び接続工事に 0.5 ヶ月間の全停電が要求される。当該送電線路の計画停電時は、カルマ水力発電所が運用開始しており、既設送電線へ電力供給が可能である。さらに、同工事に先立ち、隣接する既設 132 kV 送電線にガントリーを建設する必要があるため、同様の工事期間がナルバレ変電所ームコノ変電所間に必要となる。一方、132 kV 南幹線より当変電所に引込むため、ナルバレ変電所ールゴゴ変電所間においても同様の工事が要求される。将来の需要想定によると、既設 132 kV 北幹線及び南幹線の送電容量にて賄えるため、首都圏への電力供給に影響は見られないと考えられる。但し、将来的に想定を超える負荷が発生する場合を考慮し、状況によってはバイパス鉄塔の建設による工事期間中の計画停電の

緩和を検討する。表 6-2-2. 7 に、停電計画を示す。

表 6-2-2. 7 コンポーネント 2 実施に係る計画停電

| 計画停電範囲 | EPC 契約からの経過月 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1. 変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 該当なし | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 220 kV 送電線路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ブジャガリ変電所-カワンダ変電所① | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ブジャガリ変電所-カワンダ変電所② | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 132 kV 送電線路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ナルバシ変電所-ムコノ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ナルバシ変電所-ルゴゴ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[凡例]  : 停電期間 (24時間)

[出所] JICA 調査団

3) コンポーネント 3 の停電計画

ムコノ分岐からカンパラ北変電所間の北幹線張替工事区間は、運用中であるナマンベ変電所及びナマンベ南変電所への接続点を含んでいる。この区間は、表 6-2-2. 8 に示すように①ムコノ変電所-ナマンベ南変電所、②ナマンベ南変電所-ナマンベ変電所、③ナマンベ変電所-カンパラ北変電所と停電期間を分けることで、対象となる変電所への給電を止めることなく工事を行うよう配慮する。さらに、工事期間短縮のため、2 班に分けて張力延線線工法により工事を行う。そのため、工事対象期間の停電は、24 時間となる点に留意する必要がある。

カンパラ北変電所-ムトゥンドゥエ変電所間及びカンパラ北変電所-ルゴゴ変電所間は中心部の工事であるため吊金工法と呼ばれる方法を採用する。この場合も、24 時間の停電が要求される。

改修対象となるカワラ変電所は、既設設備が撤去された後、引渡しされるまでの 21 ヶ月にわたる期間に停電とする必要がある。この期間は、11 kV 配電線を別変電所に転荷することで給電を継続できる旨、ウメメ社に確認している。

表 6-2-2. 8 コンポーネント 3 実施に係る計画停電

| 計画停電範囲 | EPC 契約からの経過月 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1. 変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カワラ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 132 kV 送電線路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ムコノ変電所-ナマンベ南変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ナマンベ南変電所-ナマンベ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ナマンベ変電所-カンパラ北変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カンパラ北変電所-ムトゥンドゥエ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カンパラ北変電所-ルゴゴ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[凡例]  : 停電期間 (24時間)

[出所] JICA 調査団

4) コンポーネント 4 の停電計画

ムトゥンドゥエ変電所の母線拡張工事に伴い、表 6-2-2. 9 に示すとおり、既設母線から新設母線への接続変更が生じる。なお、2018 年に完工予定のエンテベ変電所行き 2 回線は、新設母線の一部となるため、新設母線と定義している。

表6-2-2. 9 ムトウンドウエ変電所の132 kV フィーダ接続構成

| フィーダ名 | フィーダ起源の変電所 | 変更前 | 変更後 |
|----------|------------|------|------|
| カワラ | カンパラ北変電所 | 既設母線 | 既設母線 |
| カンパラ北 | | 既設母線 | 新設母線 |
| カワ ندا① | カワ ندا変電所 | 既設母線 | 既設母線 |
| カワ ندا② | | 既設母線 | 新設母線 |
| カブラソケ | — | 既設母線 | 既設母線 |
| 緊急用変圧器 | — | 既設母線 | 撤去 |
| ルゴゴ | ルゴゴ変電所 | 既設母線 | 既設母線 |
| クイーンズウェイ | | 既設母線 | 新設母線 |
| エンテベ① | エンテベ変電所 | 新設母線 | 既設母線 |
| エンテベ② | | 新設母線 | 新設母線 |

[出所] JICA 調査団

表6-2-2. 9に示す通り、同じ変電所を起源とするフィーダについては既設母線と新設母線に一回線ずつ振り分けることにより、安定化を増すものである。停電期間を、計画停電対象フィーダのみに限定するため、以下の順序による接続工事を行う。

- 新設母線基礎工事及びケーブル掘削工事を開始する。この時点では計画停電は発生しない。ただし、新設母線へ振り分けられるフィーダには、既設母線ベイに、構内ケーブル引渡しを行うためのケーブルヘッドを据付するために重機を必要とするため、対象フィーダ線のみ、半日程度の停電が要求される（1.5ヶ月）。
- エンテベ①線を新設母線より既設母線へ接続し、他の移設されるフィーダに先立ち、引渡し・運用を開始する（0.5ヶ月）。
- エンテベ②線を新設母線より切り離れた上で、新設母線の建設工事を完了する（1ヶ月）。
- 新設母線及び開閉設備の受入試験完了後（1ヶ月）、移設フィーダの新設母線への接続工事及び受入試験を行う（0.5ヶ月）。
- 移設フィーダを加えた新設母線区域の引渡しを行う（0.5ヶ月）。

表6-2-2. 10に、コンポーネント4実施に係る計画停電を示す。なお、17ヶ月目後半に合計4フィーダが計画停電となるが、この期間中は、残されたフィーダ線にて対象地域への電力供給を継続することが可能である。

表6-2-2. 10 コンポーネント4実施に係る計画停電

| 計画停電範囲 | EPC 契約からの経過月 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 1. 変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 該当なし | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 132 kV 送電線路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カワ ندا変電所—ムトウンドウエ変電所② | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ムトウンドウエ変電所—カンパラ北変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ムトウンドウエ変電所—エンテベ変電所① | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ムトウンドウエ変電所—エンテベ変電所② | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ムトウンドウエ変電所—クイーンズウェイ変電所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[凡例] ■ : 停電期間 (24時間) ▲ : 短期間停電

[出所] JICA 調査団

6-3 調達計画（調達国と輸送計画含む）

6-3-1 資機材調達国

変電所、送電設備の新設・改修に伴う主要資機材はウガンダ国内では製造されていないため、国外からの輸入による調達とすることで計画する方針である。

建設工事に係る資材（セメント、砂、コンクリート用骨材、コンクリートブロック、鉄筋、木材、ガソリン、クレーン、トレーラー、その他仮設用資機材）についてはウガンダ国内でも調達可能である点に留意して調達計画を策定する。

表 6-3-1. 1 に必要資機材の調達計画を示す。

表 6-3-1. 1 調達計画

| 設備名 | 調達国 | |
|----------|------|--------|
| | ウガンダ | ウガンダ国外 |
| 変圧器 | × | ○ |
| 空気絶縁開閉設備 | × | ○ |
| ガス絶縁開閉設備 | × | ○ |
| 所内変圧器 | × | ○ |
| 緊急時発電設備 | × | ○ |
| 鉄塔・架構 | × | ○ |
| 架空線 | × | ○ |
| 保護・制御設備 | × | ○ |
| 建設資材 | ○ | ○ |

注：○：調達可能、×：調達不可

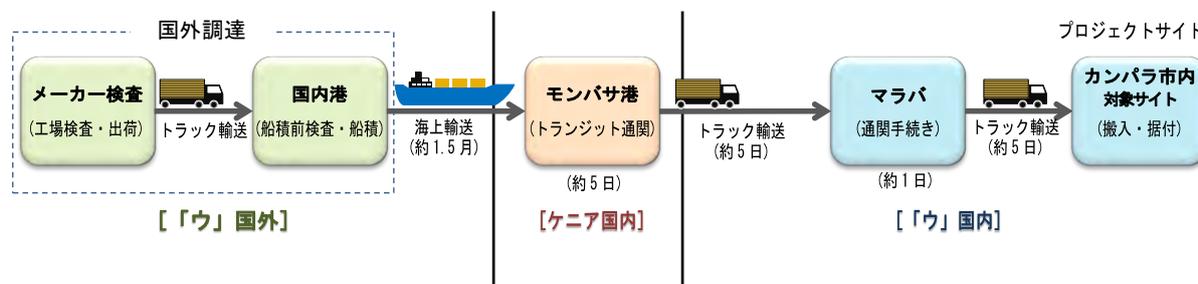
〔出所〕 JICA 調査団

6-3-2 輸送計画

通常、ウガンダへの海上輸送資機材については、ケニアのモンバサ港から荷揚げ、同港にてトランジット通関を行い、国境での通関手続き後、カンパラ首都圏の各対象サイトへ直接輸送する。

尚、海外の積出港（日本を想定）からケニアのモンバサ港まで約 1.5 ヶ月を要し、モンバサ港でのトランジット通関、ウガンダ国境までの内陸輸送に約 10 日、その後カンパラまでの内陸輸送、通関に約 5 日は最低必要となる。

したがって、海外の積出港からウガンダの対象サイトまで約 2 ヶ月の輸送期間となる。モンバサ港からウガンダ対象サイトまでの輸送経路を通じて舗装された幹線道路が整備されており、輸送上問題無い。図 6-3-2. 1 に国外からの資機材調達計画を示す。



〔出所〕 JICA 調査団

図 6-3-2. 1 国外からの資機材調達計画

本事業では主要変送電設備は海外にて製造及び輸送される計画である。カンパラ首都圏における輸送ルート上には、写真 6-3-2. 1 に示す立体交差が複数存在するものの、高さ制限は最大で 5 m 程度であり、トラック部分を含める輸送物の高さを 5 m 以内に収められれば、支障なく輸送することが可能であると考えられる。また、現地大手輸送業者と周囲を密集した住宅地に囲まれているカワラ変電所サイトへのアクセスロードを実地踏査し、道路幅を含め、アクセス道路の整備をすることなく、現地サイトへの輸送が可能であることを確認した。但し、本事業にて変電所が新設されるプロバ変電所、新ムコノ変電所へはアクセス道路の準備が、工事期間中の主要機材搬入に不可欠となる。そのため、当該変電所建設を含むコンポーネント 1 及びコンポーネント 2 については、主要幹線道路より、幅員 8 m のアクセス道路造成を EPC 業者側の所掌工事とする。



[出所] JICA 調査団

写真 6-3-2. 1 輸送ルート上にある立体交差の例

6-4 運転維持管理体制

UETCL は、8 部署（人事部、財務・会計部、計画・投資部、運転・維持管理部、情報・通信技術部、コーポレートサービス部、計画業務部、内部監査部）で構成されている。運転維持管理部は、4 部署（総括・総務部、制御部、保護部、維持管理部）で構成されている。本事業の推進体制は、計画業務部にて計画が行われ、運転・維持管理部にて運転及び維持管理が行われる。

UETCL は、全国の変電所及び送電線網の運転維持管理を安定的に行っており、系統運用については一定の技術水準を有していると判断される。全国の変電所及び送電線網の監視制御は、UETCL のルゴゴ変電所内の中央監視室より遠方監視制御で行われている。すべての変電所には常駐の職員は配置されておらず、各地域にて中心となる変電所にのみ配置されている。

新設されるプロバ変電所、新ムコノ変電所においても同様に中央監視室より遠方監視制御が行われる予定であり、これらの変電所に新たな常駐運転管理者の配置予定はない。

6-5 技術支援と技術移転

本事業においては、ガス絶縁開閉装置及び移動変電所を含んでいる。

ガス絶縁開閉装置は比較的新しい技術であるが、ウガンダでは既に導入実績があることに加え、従来の開閉装置と内部構造が異なるものの、操作方法、系統保護機能、運転維持管理上必要となる技術は、これまでウガンダで適用されてきた機材の技術水準を大幅に超えるものではない。ガス絶縁開閉装置の運転維持管理に係る技術移転については、各機器の特性、特徴、仕様を踏まえ、メーカー技術者により、据え付け時に操作運用指導を通じて、納入メーカー毎に異なる操作方法等の部分について確実に技術移転を行えば、納入機器に対するウガンダ側の運転維持管理能力の

観点から問題はないと判断される。

移動変電所に関しては、トレーラーに従来の変電設備が積載されているものなので特殊な機器ではない。しかしながら、当該機器は各トレーラーに搭載されているため変電所内での設置の方法及びケーブル接続等の訓練を現地にて行う。また、運用方法（保護）及びメンテナンス方法についての技術移転トレーニングをメーカーにより実施する計画とする。

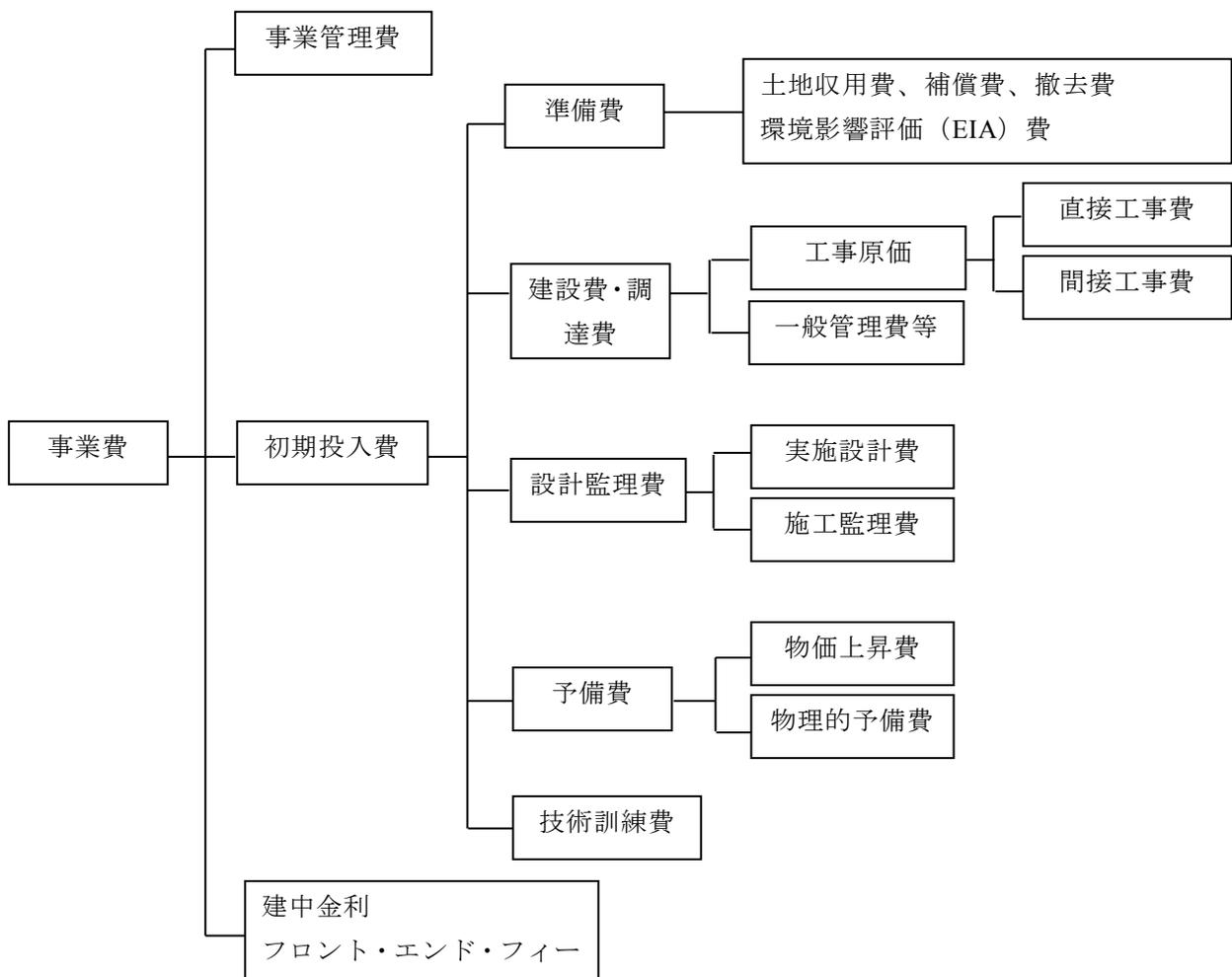
第7章 事業費と資金計画

7-1 事業費積算に準拠するガイドライン

本事業において、コンサルタントの雇用と資機材・役務の調達は、「円借款事業のためのコンサルタント雇用ガイドライン」及び「円借款事業のための調達ガイドライン」に基づいて行われる。

7-2 事業費の構成

本事業費の積算は「協力準備調査 設計・積算マニュアル（施行版）2009年3月」を参照して行う。一般的な事業費の構成を図7-2. 1に示す。



[出所] JICA 調査団

図7-2. 1 一般的な事業費の構成

7-3 積算条件

プロジェクトの概算コストを算出するにあたり、以下に示すとおり「対ウガンダ国 2016 年度円借款事業審査共通事項（案）（2016 年 3 月 16 日作成）」に基づいた。

(1) 為替レート

- | | | |
|---------------------|---------|-------------|
| 1) 円/米ドル | US\$ 1= | 115.0 円 |
| 2) 内貨(ウガンダシリング)/米ドル | US\$ 1= | 3,435.1 UGX |
| 3) 円/内貨 | UGX 1= | 0.03348 円 |

(2) 物価上昇率

- | | | |
|--------|----|-------|
| 1) 外貨分 | 年率 | 1.6 % |
| 2) 内貨分 | 年率 | 1.7 % |

(3) 物理的予備費率

10.0%とした。

(4) 積算基準年月

2016 年 3 月

(5) 建中金利

0.01%とした。

(6) フロント・エンド・フィー

0.0%とした。

(7) その他

建中金利は総事業費に含める。

7-4 事業費の積算

事業費は本体工事費（建設費）、コンサルタント費（設計・施工監理費）、予備費、事業管理費、および金利からなり、外貨部分と内貨部分とで構成されている。事業費概略表を表 7-4. 1 に示す。

表 7-4. 1 概略事業費（有償）概要表

（単位：百万円）

| 番号 | 項目 | 種別 | 金額 |
|-----|------------|------------|--------|
| [1] | 本体工事費（建設費） | 直接工事費 | 10,750 |
| [2] | 設計・施工監理費 | | |
| | | (1) 設計費 | 1,346 |
| | | (2) 施工監理費 | |
| [3] | 予備費 | | 1,655 |
| | | (1) 物価上昇費 | 527 |
| | | (2) 物理的予備費 | 1,128 |
| [4] | 事業管理費 | | 780 |
| [5] | 土地収用費 | | 1,849 |
| [6] | 税金 | | 2,475 |
| [7] | 金利等 | | 7 |

| 番号 | 項目 | 種別 | 金額 |
|-----|----|----------------|--------|
| | | (1) 建中金利 | 7 |
| | | (2) フロントエンドフィー | 0 |
| [8] | 合計 | | 18,863 |

[備考] 本体工事費は、HTLS 電線に Invar 線を使用した場合に基づいている。

[出所] JICA 調査団

各項目については、下記の方針にて積算を行った。

(1) 本体工事費（建設費）

本体工事費（建設費）の積算においては、コンポーネント別に、工事単価方式および複合工事単価方式を採用し、ウガンダにおける実際の工事単価、および同国における見積価格を根拠とすることを原則とした。但し、本邦企業による入札が想定される機材については、別途入手した見積もり等に基づいた。

本体工事費建設費の内訳を表 7-4. 2 に示す。

表 7-4. 2 本体工事費の内訳

| 項目(パッケージ) | 外貨 (百万円) | 内貨 (百万ウガンダシリング) | 合計 (百万円) | 備考 |
|-------------------------|---------------|--------------------|---------------|------------------|
| (1) 変電設備・送電設備の建設 | 9,038 | 51,142 | 10,750 | Base Cost |
| コンポーネント1 | 1,559 | 16,294 | 2,105 | - |
| コンポーネント2 | 3,416 | 15,847 | 3,946 | - |
| コンポーネント3 | 2,177 | 7,983 | 2,444 | - |
| コンポーネント4 | 1,043 | 11,018 | 1,412 | - |
| コンポーネント5 | 843 | 0 | 843 | - |
| (2) 物価上昇 | 438 | 2,635 | 527 | - |
| (3) 予備費 | 948 | 5,378 | 1,128 | - |
| 合計 | 10,427 | 59,154 | 12,405 | - |

[出所] JICA 調査団

(2) 設計・施工監理費

設計・施工監理費は、事業の運営に必要な外国人技術者及び現地技術者の要員計画を基に人件費並びに直接経費を算出した。その上で、物価上昇および予備費を考慮して設計・施工監理費とした。

設計・施工管理費の内訳を表 7-4. 3 に示す。

表 7-4. 3 設計・施工監理費

| 項目 | 外貨 (百万円) | 内貨 (百万ウガンダシリング) | 合計 (百万円) | 備考 |
|---------------|-------------|--------------------|--------------|------------------|
| 設計・監理費 | 673 | 15,285 | 1,185 | Base Cost |
| 物価上昇 | 22 | 528 | 39 | |
| 予備費 | 69 | 1,581 | 122 | |
| 合計 | 764 | 17,394 | 1,346 | |

[出所] JICA 調査団

(3) 予備費

建設費に対して上記の物価上昇を見込み、物価上昇を含む建設費に対して 5%の物理的予備費を計上した。

(4) 事業管理費

5.0%とした。

(5) 準備費

プロジェクトサイト収用費として、物理的予備費並びに物価上昇も含め 1,849 百万円となる。

(6) 税金

本件は円借款事業であるため付加価値税（VAT）及び輸入税共はウガンダ負担となり、2,475 百万円となる。

(7) 金利等

建中金利は本体工事費、設計・施工監理費ともに 0.01%を積算計上した。

7-5 工事スコープ

調達コンポーネントおよび工事スコープは、表 7-5. 1 のとおり計画した。

7-6 コンサルティングサービスの実施計画

コンサルティングサービスは、実施機関、コントラクター、JICA 及びウガンダ国内外の関係機関の調整を図り、事業の円滑かつ効果的な実施のために雇用されるものである。したがって、円借款事業では、国際的な場で活動し、当該事業に十分な資格、経験および能力を有するコンサルタントを実施機関が雇用するに当たっては借款活動および JICA コンサル雇用ガイドラインによって規定された手続きの下で公正適切かつ迅速に行うものとする。

コンサルティングサービスの主な業務内容は下記のとおりである。

- 事業監理
- 系統計画のレビュー
- 設計レビュー並びに入札図書作成
- 入札補助
- 施工監理
- 環境管理計画(EMP)、環境モニタリング計画(EMoP)、移転実施計画(RAP)の実施監理
- 技術移転

表7-5. 1 調達コンポーネントおよび工事スコープ

| コンポーネント番号 | 主な内容 | 仕様・数量 | 内容 |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| コンポーネント1 プロバ変電所新設 | 1-1 プロバ変電所 (1) 220 / 132 kV 変圧器 (2) 132 / 33 kV 変圧器 (3) 220 kV 開閉装置 (4) 132 kV 開閉装置 (5) 33 kV 開閉装置 (6) 変電所建屋 | 125 MVA×2 台 40 MVA×2 台 1 式 1 式 1 式 1 棟 | 新設 |
| | 1-2 220 kV 送電線 (1) プロバ分岐点-プロバ変電所 | 約 0.9 km×4 回線 | 新設 |
| | 1-3 132 kV 送電線 (1) プロバ分岐点-プロバ変電所 | 約 0.8 km×2 回線 | 新設 |
| コンポーネント2 新ムコノ変電所新設 | 2-1 新ムコノ変電所 (1) 220 / 132 / 33 kV 変圧器 (2) 220 kV ガス絶縁開閉装置 (3) 132 kV ガス絶縁開閉装置 (4) 変電所建屋 (5) 132 kV 送電線 (新ムコノ変電所-ムコノ変電所) | 125 MVA×3 台 1 式 1 式 1 棟 約 0.3 km×2 回線 | 新設 |
| | 2-2 220 kV 送電線 (1) 新ムコノ分岐点-新ムコノ変電所(77番-78番鉄塔間 132 kV 送電線改造含む) | 約 4.2 km×4 回線 | 新設 |
| | 2-3 132 kV 送電線 (1) 新ムコノ変電所-新ムコノ分岐点 (南幹線) | 約 0.4 km×2 回線 | 新設 |
| コンポーネント3 カワラ変電所改修及び北回り 132 kV 回線を主とする 増容量電線張り替え | 3-1 カワラ変電所 (1) 132 / 33 kV 変圧器 (2) 132 / 11 kV 変圧器 (3) 132 kV ガス絶縁開閉装置 (変圧器直結型) (4) 33 kV 開閉装置 (5) 11 kV 開閉装置 (6) 変電所建屋 | 40 MVA×3 台 20 MVA×1 台 1 式 1 式 1 式 1 棟 | 改修 |
| | 3-2 132 kV 送電線 (1) ムコノ分岐点 (北幹線) -カンパラ北変電所 (2) カンパラ北変電所-ムトゥンドウエ変電所 (3) カンパラ北変電所-ルゴゴ変電所 (4) カワラ分岐点-カワラ変電所 | 約 25.4 km×1 回線 約 10.2 km×2 回線 約 5.3 km×2 回線 約 0.1 km×2 回線 | 張替 張替 張替 ケーブル化 |
| コンポーネント4 ブジャガリ変電所及び ムトゥンドウエ変電所 改修及び増設 | 4-1 ブジャガリ変電所 (1) 220 / 132 / 33 kV 変圧器 (2) 220 kV 開閉装置 (3) 132 kV 開閉装置 | 250 MVA×1 台 1 式 1 式 | 増設 |
| | 4-2 ムトゥンドウエ変電所 (1) 132 kV 開閉装置 | 1 式 | 増設 |
| コンポーネント5 移動変電所 調達 | 5-1 移動変電所 (132/33 - 11 kV) | 約 20 MVA×2 台 | 調達 |

[出所] JICA 調査団

