

タンザニア国
タンザニア電力会社

タンザニア国
ガス火力開発にかかる情報収集・確認調査

ファイナルレポート

平成 28 年 12 月
(2016 年)

独立行政法人 国際協力機構
(JICA)

株式会社ニュージェック
関西電力株式会社

産 公
J R
16-093

タンザニア国 ガス火力開発にかかる情報収集・確認調査
ファイナルレポート

目 次

第 1 章	はじめに.....	1
1.1	プロジェクトの背景	1
1.2	調査スケジュール	1
1.3	調査結果概要	2
1.4	プロジェクトの実施体制	3
第 2 章	既設ガス火力発電所の運用状況及び維持管理体制.....	4
2.1	TANESCO 所有の既設発電所概要	4
2.1.1	ガスエンジンとガスタービン.....	4
2.1.2	TANESCO 所有既設発電所	5
2.2	運用・維持管理の状況	7
2.2.1	体 制	7
2.2.2	オペレーション	7
2.2.3	メンテナンス	8
2.3	発電所管理における問題点及び日本の電力会社との比較.....	8
2.3.1	強制停止要因	8
2.3.2	負荷率低下要因	9
2.3.3	日本の電力会社との比較	9
第 3 章	ガス火力発電所における IoT について.....	12
3.1	電力事業における IoT について.....	12
3.2	メーカーによる遠隔監視サービス	12
3.2.1	ゼネラル・エレクトリック (GE)	13
3.2.2	三菱日立パワーシステムズ (MHPS)	15
3.2.3	IHI.....	17
3.2.4	日本電気 (NEC)	18
3.3	契約内容と運用状況	19
3.4	日本企業の IoT の現状及び Kinyerezi I との比較.....	19
第 4 章	タンザニア国におけるガス火力発電の開発計画とその課題及び対応.....	20
4.1	最新の開発計画	20
4.1.1	キネレジ I (Kinyerezi I)	20
4.1.2	キネレジ II (Kinyerezi II)	20
4.1.3	キネレジ III フェーズ 1、2 (Kinyerezi III Phases 1, 2)	21
4.1.4	キネレジ IV (Kinyerezi IV)	21
4.1.5	ソマンガ・フング フェーズ 1、2 (Somanga-Fungu Phases 1, 2)	21
4.1.6	ムトラワ (Mtwara)	22
4.1.7	ジンガ (Zinga)	22

4.1.8	ソマンガ (Somanga)	22
4.1.9	ムクランガ (Mkuranga)	22
4.2	課題と対応策	23
4.2.1	新規電源	23
4.2.2	既設電源	23
第 5 章	新地点の現地調査結果	24
5.1	新地点候補	24
5.2	現地調査地点の絞込み	24
5.3	現地調査地点の評価	26
第 6 章	新規ガス火力発電所の検討	39
6.1	本プロジェクトの必要性	39
6.2	本プロジェクトの仕様	40
6.3	ガス供給計画	45
6.4	原水供給	46
6.5	サイトのプロットプラン	47
6.6	プロジェクト工程	49
6.7	プロジェクト価格の概算	49
第 7 章	送電線の検討	51
7.1	中長期計画における送電容量の確認	51
7.2	300km 規模の 400kV 送電線の電線サイズ・条数検討	58
7.3	従来電線に対する低ロス電線仕様の検討	65
7.4	ライフサイクルコスト比較	71
7.5	最適低ロス電線の選定	74
7.6	低ロス電線の PQ 条件の検討	75
第 8 章	ガス火力開発に係る今後の支援策及び円借款事業の可能性検討	82
8.1	電力設備の拡充	82
8.2	運転保守経験	82
8.3	ソマンガからムトワラへの送電線の必要性	83
第 9 章	日系企業がアフリカ地域のガス火力開発に参入する際の 課題と解決策	84
9.1	日系企業の関心度	84
9.2	アフリカ地域進出のための課題と対応策	84
9.3	送電線事業がアフリカ地域進出のための課題と対応策	86
第 10 章	結論と提言	88
10.1	既設ガス火力発電所	88
10.2	ガス火力発電所計画	88
10.3	低ロス送電線	90

- APPENDIX I 第1回現地調査（2016年7月25日～7月29日）
- APPENDIX II 第2回現地調査（2016年8月29日～9月9日）
- APPENDIX III Site Earmarking Report for the Proposed Mkuranga 250MW CCGT Power Plant Project

図表リスト

図 2-1	発電所外観図.....	6
図 2-2	TANESCO 発電所運用・維持管理体制.....	7
図 5-1	250MW GTCC 候補地点.....	24
図 5-2	踏査地点及び関連施設の位置図.....	27
図 5-3	蒸気タービン冷却方式の比較及び重量物陸揚げ用の栈橋の概念図.....	30
図 5-4	最適地点のエリア.....	31
図 6-1	GTCC プラント仕様決定フローチャート.....	41
図 6-2	一軸型と多軸型 GTCC の比較.....	44
図 6-3	タンザニア国のガス需要・供給バランス.....	46
図 6-4	プロットプラン 1 GE (2×LM6000PF+) ×2.....	47
図 6-5	プロットプラン 2 MHPS (2×H-110).....	48
図 7-1	National Grid System (2014) in Tanzania.....	51
図 7-2	タンザニア国の系統開発計画図.....	52
図 7-3	2015 年系統構成図.....	53
図 7-4	2020 年系統構成図.....	54
図 7-5	検討対象送電系統図.....	56
図 7-6	ガスパイプライン計画図.....	57
図 7-7	Bluejay 電線の最大送電容量と送電距離特性.....	64
図 7-8	Bluejay 電線と低ロス 610 電線とのコスト比較 (300km).....	73
図 7-9	Bluejay 電線と低ロス 610 電線とのコスト比較 (500km).....	74
表 2-1	単機最大出力.....	4
表 2-2	ガスエンジンとガスタービンの比較.....	4
表 2-3	TANESCO 所有既設ガス発電所概要.....	5
表 2-4	定検間隔及び点検内容.....	8
表 2-5	日本の電力会社と TANESCO の比較.....	10
表 5-1	候補サイトのスクリーニング.....	25
表 5-2	サイト踏査地点の説明.....	26
表 5-3	候補地点の調査結果 (ムトワラ).....	28
表 5-4	候補地点の調査結果 (リンディ).....	29
表 6-1	ムトワラ・リンディ地域での電力需要.....	39
表 6-2	候補 GTCC.....	42
表 6-3	各メーカー GTCC の比較.....	43
表 6-4	蒸気タービン冷却方式の検討.....	45
表 6-5	予想プロジェクト工程.....	49
表 7-1	既設送電線の電圧別使用電線.....	59

表 7-2	220kV～400kV 送電線の仕様.....	59
表 7-3	各種電線の送電容量と電界強度計算結果比較.....	59
表 7-4	各種電線の最大表面電位の傾き比較表.....	61
表 7-5	各種電線の表面電位の傾き比較表.....	62
表 7-6	低ロス電線の設計例	67
表 7-7	低ロス電線の送電ロス比較表（300km の場合）	69
表 7-8	低ロス電線の送電ロス比較表（500km の場合）	70
表 7-9	低ロス電線比較対象ケース一覧表.....	70
表 7-10	各種電線の単価（タンザニア国 SHIPPING 含む）	71
表 7-11	各電線の資材費	72
表 7-12	送電ロス計算事例の各種パラメーター一覧表.....	73

略語集

略語	英語標記	日本語標記
BOP	Balance of Plant	発電所の周辺機器(主機以外)
COD	Commercial Operation Date	商用運転開始日
DBSA	Development Bank of Southern Africa	南アフリカ開発銀行
EPC	Engineering, Procurement, Construction	設計、調達、工事
EPRI	Electric Power Research Institute (USA)	米国電力研究所
F/S	Feasibility Study	実現可能性調査
GE	General Electric Company	ゼネラル・エレクトリック
GT	Gas Turbine	ガスタービン
GTCC	Gas Turbine Combined Cycle	ガスタービン・コンバインドサイクル
HRSG	Heat Recovery Steam Generator	排熱回収ボイラ
ICB	International Competitive Bidding	国際競争入札
IHI	IHI Corporation	株式会社 IHI
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
IPP	Independent Power Producer	独立発電事業者
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	株式会社 国際協力銀行
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人 国際協力機構
LNG	Liquefied Natural Gas	液化天然ガス
LTSA	Long Term Service Agreement	長期サービス契約
MHPS	Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd.	三菱日立パワーシステムズ株式会社
MOF	Minsitry of Finance	財務省
MOU	Memorandum of Understanding	覚書
MQTT	Message Queueing Telemetry Transport	通信プロトコル
MT Method	Mahalanobis-Taguchi Method	マハラノビス・タグチ・メソッド(MT 法)
NEXI	Nippon Export Investment Insurance	独立行政法人 日本貿易保険
NSSF	National Social Security Fund	国家社会保険基金
NEC	NEC Corporation	日本電気株式会社
NOx	Nitrogen Oxide	窒素酸化物
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
O&M	Operation and Maintenance	運転・保守
PPP	Public-Private Partnership	官民連携パートナーシップ
PSMP	Power System Master Plan (The Project for Formulation of Power System Master Plan in Dar es Salaam and Coast Region and Review of Power System Master Plan)	電力システムマスタープラン
SMBC	Sumitomo Mitsui Banking Corporation	三井住友銀行
ST	Steam Turbine	蒸気タービン
TANESCO	Tanzania Electric Supply Company Limited	タンザニア電力会社
TPSC	Toshiba Plant Systems & Services Corporation	東芝プラントシステム株式会社
TPDC	Tanzania Petroleum Development Corporation	タンザニア石油開発会社

第1章 はじめに

1.1 プロジェクトの背景

タンザニア国政府は、将来の発電量に関し戦略的な短期（2016～2020）及び中期計画（2021～2025）を立案中である。この厳しい目標達成のため、タンザニア電力会社（TANESCO）は、国際協力機構（JICA）に対してムトワラ地域での 300 MW クラスガスタービン・コンバインドサイクル（GTCC）発電所及びムトワラ～ソマンガ間の 400 kV 送電線建設の円借款の要請を行った。

JICA は、TANESCO の要請に答え、株式会社ニュージェックと関西電力株式会社の共同企業体をコンサルタントに任命し、この新規ガス発電所の実現可能性調査（F/S）を開始した。調査の主体は新規ガス火力発電所の開発にかかる検討であるが、この他、

- 1) 既存発電所の運用・維持管理体制の調査、とりわけ“モノのインターネット（IoT）”の導入計画の調査
- 2) タンザニア国におけるガス火力発電開発にかかる情報収集
- 3) 今後のアフリカ地域における、ガス火力発電開発の提言

も調査対象である。また、

- 4) 400 kV 送電線建設に日本企業が競争力を有する低ロス送電線が適用できないかの検討

が追加となった。

1.2 調査スケジュール

2016年7月下旬～12月下旬の調査期間約5ヶ月のファストトラックプログラムである。

年月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
主要業務	第1回 現地調査 ▼ Inception Report	第2回 現地調査	▼ Draft Final Report			▼ Final Report

業務従事期間中、コンサルタントは JICA あるいは TANESCO と共同で 2 回の現地調査を行った。

(1) 第1回現地調査(2016年7月25日～7月29日)

第1回現地調査の詳細は Appendix I “1st Site Investigation Report” に示す。

主な活動は、本プロジェクトに関係するタンザニア国政府機関への挨拶及び質問票の回収と TANESCO が選定していた9カ所の候補地点を15項目のチェックシートでスクリーニングにかけ、4候補地点に絞り込んだことである。

(2) 第2回現地調査(2016年8月29日～9月9日)

第2回現地調査の詳細は Appendix II “2nd Site Investigation Report” に示す。

主な活動は、候補地点(初期計画では4地点であったが、新たに3地点を追加し、合計7地点)のサイト踏査を行い、最適地点を選定したことである。さらに、発電所建設に必須の燃料供給、水供給についての調査も行った。

1.3 調査結果概要

最適地点の詳細は第5章「新地点の現地調査結果」で説明するが、概要は以下のとおり。

- 最適地点は、海拔4～5mの平地で、発電所の造成にあたっては大規模な土木工事は不要と判断される。
- 最適地点は、小さな半島の先端に位置し深海に囲まれていることから、蒸気タービン(ST)冷却にプラント効率が高い海水冷却を採用できる。
- 海水冷却用の取水路を重量物の陸揚げ用栈橋として利用できる可能性がある。このため重量物の陸送が必要なくなり、アクセス道路の拡張/舗装及びそれに伴う住民移転の問題を解消できる。最近では重量物を荷役できるクレーン設備を有する貨物船での輸送が一般的となっており、栈橋に荷揚げ設備を設置する必要はないと考える。
- タンザニア国東海岸は水不足の地域だが、ムトワラには Ruvuma 河を水源とする大規模な給水プロジェクトが進行中であり、新規ガス火力発電所への原水供給も可能と思われる。
- ムトワラからダルエスサラームへのガス導管は敷設済で、新規ガス火力発電所への十分なガス供給も可能であると見込める。

結果として、新規ガス火力発電所の建設は実現可能であると判断された。

1.4 プロジェクトの実施体制

本プロジェクトのコンサルタント従事者とその役割を以下に示す。

氏名	職務	会社
佐田 哲朗	統括／ガス火力発電開発計画	ニュージェック
奥田 英信	ガス火力発電運転計画	関西電力
平野 純司	運用・保守管理技術・体制(1)	ニュージェック
鈴木 信吾	運用・保守管理技術・体制(2)	関西電力

なお、第1回現地調査には下記の JICA メンバーが同行された。

氏名	職務	会社
田所 博	国際協力専門員	JICA
伊藤 綱貴	職員	JICA
Rosina Apolei	Assistant Program Officer	JICA タンザニア事務所

また、第2回現地調査には下記の JICA 及び TANESCO のメンバーが同行された。

氏名	職務	会社
田所 博	国際協力専門員	JICA
Abdallah Chikoyo	Planning Mechanical Engineer	TANESCO
Alex Gerald	Planning Electrical Engineer	TANESCO

第2章 既設ガス火力発電所の運用状況及び維持管理体制

2.1 TANESCO 所有の既設発電所概要

TANESCO は、現在 6 ヶ所の稼働中のガス火力発電所を所有している。いずれもガスエンジンやガスタービン（GT）を用いた小規模の発電所である。

2.1.1 ガスエンジンとガスタービン

タンザニア国の電力システムの最大需要量は 2015 年に記録された 988.27MW であり、このような小規模なグリッドの場合には大容量のユニットが存在すると、それがトリップした場合に系統周波数を許容範囲内に維持することが出来ない。従って、タンザニア国の電力系統容量に合わせた発電容量とする必要があり、「タンザニア連合共和国 全国電力システムマスタープラン策定・更新支援プロジェクト」（PSMP, 2012）によれば、表 2-1 のとおりである。

表 2-1 単機最大出力

年	単機最大出力
2020	132MW
2025	236MW
2030	390MW

出典：PSMP（第2年次）プログレスレポート

例えば、Heavy Duty と呼ばれる発電用に開発されたガスタービンの単機容量は、M701F タイプ（MHPS 製、50Hz 用）の場合 359MW を超える出力となり、表 2-1 に示す 2020 年の単機最大出力よりも大きいため適切ではない。このような背景のもと現状のタンザニア国では出力の比較的小さい航空機転用型ガスタービン、重電機型ガスタービン及びガスエンジンが使われている。表 2-2 にガスエンジンとガスタービンの比較を示す。

表 2-2 ガスエンジンとガスタービンの比較

	航空機転用型ガスタービン	ガスエンジン	重電機型ガスタービン
定期点検	<LM6000 の事例> ・ボアスコープ点検 (6 ヶ月毎) ・高温部品工場点検 (25,000h) ・オーバーホール工場点検 (50,000h)	<KU30GIS の事例> ・点火プラグ点検(2,000h 毎) ・シリンダーカバー取替 (4,000h 毎) ・ピストン引抜き点検 (8,000h 毎) ・本格点検 (36,000h 毎、工場持ち帰り)	<SGT-800 の事例> ・ボアスコープ点検 (10,000h 毎) ・高温部品点検 (25,000h 及び 40,000h 毎) ・オーバーホール点検 (60,000h 毎)
メンテナンスコスト	ガスエンジンのような潤滑油は不要で、一般的にガスエンジンより低い。	シリンダー内でピストンが往復動するため潤滑油が必要で一般的にガスタービンより高い。	ガスエンジンのような潤滑油は不要で、一般的にガスエンジンより低い。
効率	燃焼温度が低い分、一般的にガスエンジンより効率は低い。	燃焼温度が高い分、一般的にガスタービンより効率は高い。	このクラスでは、燃焼温度が低い分、一般的にガスエンジンより効率は低い。

出典：JICA 調査団（メーカー聞き取り他）

2.1.2 TANESCO 所有既設発電所

TANESCO が所有する既設発電所の概要を表 2-3 に示す。
また、各サイトの外観図を図 2-1 に示す。

表 2-3 TANESCO 所有既設ガス発電所概要

Plant	Ubungo I	Tegeta	Ubungo II	Mtwara	Kinyerezi I	Somanga
Fuel	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas
Units	12	5	3	9	4	3
Installed Capacity (MW)	102	45	105	18	158	7.5
Year Installed (Jan)	2007	2009	2012	2007	2016	2010
Gas Turbine / Gas Engine	Gas Engine	Gas Engine	Gas Turbine	Gas Engine	Gas Turbine	Gas Engine
Type	W20V34SG	W20V34SG	SGT-800	G3520C	LM6000PF	W6L32SG
Manufacturer	Wärtsilä	Wärtsilä	SIEMENS	Caterpillar	General Electric	Wärtsilä

出典：JICA 調査団（TANESCO 聞き取り）

(1) Ubungo I ガス火力発電所

1 系列ガスエンジン 6 ユニットの 2 系列（第 1 系列：Unit 1～Unit 6、第 2 系列：Unit 7～Unit 12）で構成されている。プラントの総出力は 102MW（8.5MW×12）。燃料は Songo Songo ガス田からの天然ガスを使用している。

(2) Tegeta ガス火力発電所

ガスエンジン 5 ユニットの 1 系列で構成されている。総出力は 45MW（9MW×5）。燃料は Songo Songo ガス田からの天然ガスを使用している。Ubungo I、II とは異なるガス供給母管から供給されている。

(3) Ubungo II ガス火力発電所

シンプルサイクル・ガスタービン 3 ユニットの 1 系列で構成されている。総出力は 105MW（35MW×3）。燃料は Songo Songo ガス田からの天然ガスを使用している。

(4) Mtwara ガス火力発電所

ガスエンジン 9 ユニットの 1 系列で構成され、総出力は 18MW（2MW×9）。燃料は Mnazi Bay ガス田からの天然ガスを使用している。タンザニア国南部のムトワラ・リンディ地域の電力需

要に対応するために開発された。

(5) Kinyerezi I ガス火力発電所

シンプルサイクル・ガスタービン 4 ユニットで構成され、総出力は 158MW (44MW × 2, 35MW × 2)。1、2 号機と 3、4 号機の各 2 ユニットの出力が異なるのは、1、2 号機には、ガスタービン出力を上げるため吸気温度を下げる電動チラーが設置されているためである。燃料は Mnazi Bay ガス田からの天然ガスを使用している。

(6) Somanga ガス火力発電所

ガスエンジン 3 ユニットで構成され、総出力は 7.5MW (2.5MW × 3)。世界銀行から譲渡された設備である。このプラントは、第 4.1.8 節で言及しているソマンガ発電プロジェクトに隣接しており、Songo Songo ガス田からの天然ガスを使用している。



Ubungo I



Ubungo II



Mtwara



Kinyerezi I

出典：JICA 調査団（現地訪問）

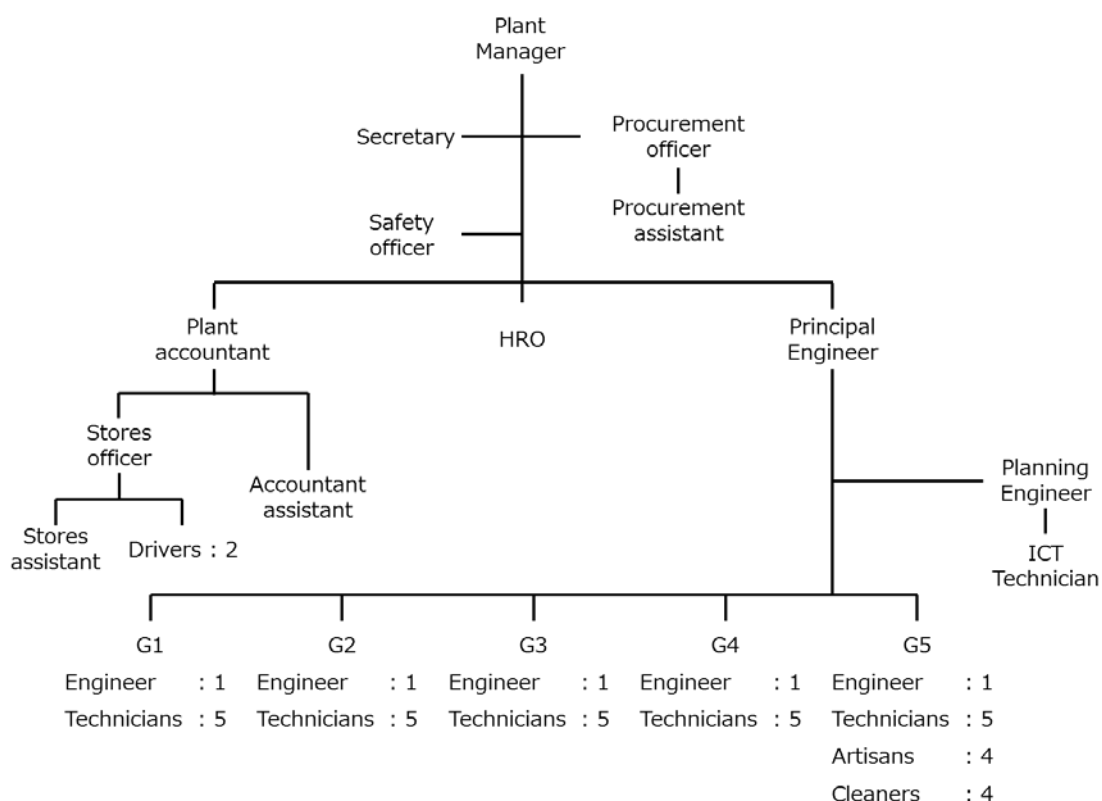
図 2-1 発電所外観図

2.2 運用・維持管理の状況

2.2.1 体制

TANESCO における発電所運用・維持管理のための体制を図 2-2 に示す。

当直体制は 4 班 3 交代 (Group 1~4)。1 シフトの勤務時間は 8 時間となっている。また、メンテナンスチーム (Group 5) がある。



出典：JICA 調査団 (TANESCO 聞き取り)

図 2-2 TANESCO 発電所運用・維持管理体制

2.2.2 オペレーション

プラントオペレーションはメーカーとの運転・保守 (O&M) 契約により実施するのではなく、TANESCO 自身にて実施している。収集している運転データについても TANESCO にてチェックを実施し、異常があればメーカーに連絡をとり問題に対処している。

2.2.3 メンテナンス

主要機器以外の発電所周辺機器（BOP）の日常メンテナンスは、TANESCO にて保有している予備品を用いて発電所所員自身でメンテナンスを実施している。一方、メジャー・メンテナンス（定検）はメーカーのマニュアルに基づき決定し、メーカーに委託を行うことで実施している。表 2-4 に定検間隔及び点検内容を示す。

表 2-4 定検間隔及び点検内容

No	定検間隔	点検内容
A	10,000 hrs.	燃焼器ボアスコープ点検
B	25,000 hrs.	燃焼器及び GT1 段動翼取替
C	40,000 hrs.	燃焼器及び GT1～3 段動翼取替
D	60,000 hrs.	本格定検

出典：JICA 調査団（TANESCO 聞き取り）

2.3 発電所管理における問題点及び日本の電力会社との比較

日本においては、電力の安定供給のために電気事業法他、各種法や規則により日々の運用やメンテナンスが行われており、日本の電力会社における発電所の運用体制は、電力の安定供給という面からは世界最高水準にあると考えられている。従って、TANESCO が保有するプラントの問題点を抽出するとともに、一般的な日本の電力会社と TANESCO による発電所の運用について比較を行い、タンザニア国における電力の安定供給のレベルを向上すべく、取り組むべき事項を浮かび上がらせることを試みた。

2.3.1 強制停止要因

Ubungo II では 2016 年 6 月に Unit 1 において異音が発生し強制停止させる事象が発生した。メーカーが 2016 年 7 月に来所し、ボアスコープ点検を実施。その結果、ガスタービン圧縮機の #5 段動翼のクラックを起点とし #6～#15 段翼に損傷が見つかった。ただクラック発生の根本原因は現時点で判明していないとのことである。また、Somanga Gas Plant（8MW のガスエンジンプラント）においても 1 ユニットが長期停止中であり、これについても原因不明である。

これらの例でもわかるように、メーカーとの交渉が円滑に行われなため、原因調査も十分に行われず、設備の復旧が遅れがちである。その他に TANESCO から得られた情報としては、TANESCO 所有の既設ガス火力発電プラントの強制停止要因として、需給の負荷変動が大きいことも問題となっているとのことである。そのため、新規の発電所を建設し負荷変動に対応できる電力システムにする必要があると考えられる。

2.3.2 負荷率低下要因

Ubungo I と Ubungo II は、同一のガス導管を使用しているため、十分なガスが供給されず、負荷率を下げている状況である。よって、Songo Songo ガス田からの供給量を増やす、あるいは Tegeta ガス導管と繋ぐ等の対応を行い、Ubungo 両発電所を有効に活用することが求められる。

2.3.3 日本の電力会社との比較

表 2-5 に、日本の電力会社で行っているプラント運用管理の実施内容と TANESCO での実施の有無を比較した結果を示す。

表 2-5 日本の電力会社と TANESCO の比較

1. Power Station

Japanese Utility Company		TANESCO
Organization	Activities	Activities
Operation	Daily patrol inspection	
	- Record of daily patrol inspection	○
	Performance Check	
	- Intervals of performance check (Monthly/ Yearly)	×
	- Performance adjustments from actual condition to reference site condition	×
Maintenance	Subcontractors	
	- Exist of subcontractors permanently on site	×
	Scheduled maintenance	
	- Maintenance schedule is planned	○
	GT Maintenance	
	- Spare parts at site	×
Human Resources, Training	- On the job training	×
	- Class room training	×
	- Incentive system for employee's proposal on performance improvement and cost cutting	×

2. Headquarter

Japanese Utility Company		TANESCO
Organization	Activities	Activities
Technical Division	Remaining life assessment for major equipment	×
	Study on repair/replacement method and its timing as the results of 1) maintenance and performance check results at power stations and 2) remaining life assessment results for major equipment	×
	Update of O&M manual	×
Planning Division	Long-term maintenance schedule	○
	Computerized inventory control of spare parts for all power stations	×
Training Center	Plant operation drill by simulators	×
	Operation and maintenance drill of equipment by using models	×

出典：JICA 調査団（TANESCO 聞き取り）

2.3.3.1 発電所運用管理における問題点

表 2-5 より、TANESCO の既設火力発電所においては、日々のプラント運転状態について記録を実施、確認を行っているが、定期的にプラントを定格負荷で保持した運転状態でユニット性能データを取得するといった管理は実施されていないのが現状である。現在 TANESCO が所有する火力電源は、ガスエンジン、ガスタービンのシンプルサイクルのみで性能管理のための測定ポイントも多くはないが、今後タンザニア国に GTCC が入ってくれば、測定ポイントも増えトッピングサイクル、ボトムリングサイクルと別々に効率を管理するなど効率管理も複雑になってくる。設備トラブルの早期発見に寄与する定期的なユニットの性能管理のノウハウを獲得することは、今後タンザニア国で GTCC を含む火力発電を拡大していく上でも重要である。

2.3.3.2 メンテナンスにおける問題点

ガスエンジンの発電所においては、メーカ推奨に基づく定期点検を実施しているが、TANESCO によると、資金不足のため Wärtsilä (バルチラ社) 製ガスエンジン (W20V34SG) の予備品を 1 セット分しか保有していないとのことである。Ubungo I と Tegeta は同機種ガスエンジンであるので、共有は可能であるが、定期点検時やトラブル時におけるこれら 2 発電所間での予備品の取り回しが課題となると思われる。また、Ubungo II においては、ホットパーツ (ガスタービン高温部品) の予備品は保有していない。そのため、トラブル発生時に都度メーカから購入することとなり、復旧に時間を要している。

また、トラブル発生時の予算についても計画的に確保していないため、スペアパーツの購入が必要になれば TANESCO 内の予算残により対応することとなっており、メーカとの契約に長時間を要することが想像されるため、トラブル対応用の予算を確保することも重要になる。

2.3.3.3 発電所要員の教育・研修、育成における問題点

TANESCO には発電所所員の教育計画があり、発電所所員の育成及び技術伝承を行っている。しかしながら、Somanga Gas Power Plant への聞き取りにより、我々は更なる所員のトレーニングが必要であろうと感じた。Somanga Gas Power Plant と Ubungo I は同じメーカのガスエンジンであり、メンテナンス時などは人の融通をしているとのことである。また、今後タンザニア国においても GTCC プラントが運転を開始するが、ボトムリングサイクル (HRSG + ST) で使用する水処理も重要となるため、既存の発電所の知見だけでは運用は難しく、安定的な発電所運用及びトラブル発生時の適切な対処のためにも教育・研修計画を策定する必要があるものと考えている。

第3章 ガス火力発電所における IoT について

3.1 電力事業における IoT について

IoT とは、様々なモノがインターネットに繋がることにより、相互に情報をやり取りし、ヒトからモノへの制御を行うだけでなく、モノからモノへの制御をも含む広い概念である。過去からユビキタス、M2M (Machine-to-Machine) といった IoT に類似する取り組みはあったが、近年 IoT が脚光を浴びてきているのは、高性能なセンサーが安価に製造できるようになったことやクラウド、ビッグデータ、人工知能といった IT 技術の進化が IoT を実現できるレベルに達してきた事が背景にある。

IoT システムは、大きく Device Layer、Network Layer、Service Layer に分けて考えられる。IoT を実行する上で最も重要なのが Device Layer におけるセンシング技術であり、安価でかつ多様なセンサーが実世界の情報をデータに置き換える。センサーで取得されたデータは Network Layer を通じて伝達されるが、その際に様々な通信プロトコルが利用される。デバイス間の通信で利用されるプロトコルとしては、IoT デバイス同士を接続するために利用される Bluetooth Low Energy (BLE) や 920Mhz 帯の電波を利用した EnOcean 等がある。またアプリケーション層の通信として Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) と呼ばれる双方向、多対多の通信を非同期に実行可能なプロトコルが用いられる。Service Layer における機能はデータ収集、データ蓄積、データ処理である。データ収集・蓄積は様々な形態のデータ（光、音、温度）を様々なスパン（数秒、数分、数時間）で採取する必要があり、こういった雑多なデータに柔軟に対応できるシステムが要求される。データの分析にはバッチ処理をするものとリアルタイム処理をするものがある。バッチ処理については Apache Hadoop や Apache Spark といった分散型処理基盤が採用され、リアルタイム処理には Apache Storm や Spark Streaming といった分散型処理基盤が活用されている。

(参考文献：電気評論 2016)

3.2 メーカーによる遠隔監視サービス

発電所は巨大なシステムであり、多くの物理的計測データ（圧力、温度、流量等）と制御データがその運転のために利用されている。従来、これらのデータを蓄積し、発電所のトラブルシューティングなどに活用する取り組みは通常取り組みとしてなされてきたが、近年の IoT というキーワードのもとで、収集されていたが十分に活用されていなかった膨大なデータを、より能動的に活用しようという動きが出てきている。「能動的に」という意味は、従来、当直員や保守員の経験に依存した単一の閾値による警報発信及びメンテナンスへの移行という流れを、計算機の支援によって行うものであり、下記のような特長を持つ。

- (1) 計算機によって自動かつフレキシブルに閾値（しきいち）を設定
- (2) 人間では気付きにくい挙動の変化を検知（例えば、ある値を中心に上下にランダムに振れているようなデータの場合、その振れ幅が拡大あるいは縮小したというのはチャートからは知覚しにくい）
- (3) 一定時間間隔の監視では気付きにくい緩慢な運転状態の変化を検知（例えば、数年掛けて効率が劣化している事象などは、定期点検毎など一定の運転時間を経過した期間で差異を比較しなければ発見できない）
- (4) 人間では実務的に不可能な膨大かつ広範囲のデータを処理

上記のような特長を活かし、従来では想定できなかった攻めのメンテナンスの実現が視野に入ってきた。この攻めのメンテナンスは異常予知や異常診断と呼ばれており、トラブルが大きくなる前の小さな兆候を早期に発見し、速やかに対処することで重大なトラブルを未然に防止することを目標としている。

膨大な運転データを収集・分析することで一般的に以下のメリットがあるとされている。

- トラブルリスクの低減 : 膨大なデータを分析することにより、設備トラブルが大きくなる前にユーザーに対して警報を発し、早期対応を促す。これにより設備の信頼性が上がり、また重大なトラブルを未然に防ぐ事ができるため、メンテナンスによる停止期間を短縮し設備稼働率の向上に繋ぐことが期待される。
- データに基づいた意思決定 : メーカーでは世界中に販売した機器の運転データを日々収集し、それらのデータを用いてトラブルの予兆を発見するアルゴリズムを開発し、このアルゴリズムに基づいてユーザーにアドバイスをを行っている。そのため、ユーザーは経験に頼っていた運転や保守の対応から、よりデータに基づいた意思決定を行うことができるようになる。

3.2.1 ゼネラル・エレクトリック（GE）

GEは日々、世界中の1,600台を超える発電機からデータを収集しており、そのデータ量は1億時間を越える運転時間に相当する40テラバイトにのぼる。ジョージア州アトランタにあるモニタリング分析センター（Monitoring & Diagnostics (M&D) Center）では50名以上のエンジニアがデータ分析を行っている。モニタリングサービスはアトランタが主な拠点となる

が、スコットランド、フランス、インドからもサポートを行っている。GE は積み上げてきた経験を活かして、物理現象に基づいた独自のアルゴリズムを開発し、60 以上の異なる不具合事象に対して早期アラートを顧客に出すことができる。GE によれば、このサービス事業により 2014 年は 70 Mil USD 以上のコスト節約を顧客にもたらしたとしている。

GE の遠隔監視サービスの特長としては、サイバーセキュリティ対策も提供していることや、ユーザーの要望に応じて遠隔で低窒素酸化物（NOx）燃焼器のチューニングを行う等のサービスも含んでおり、単なる遠隔監視にとどまらないサービスとなっていることがあげられる。

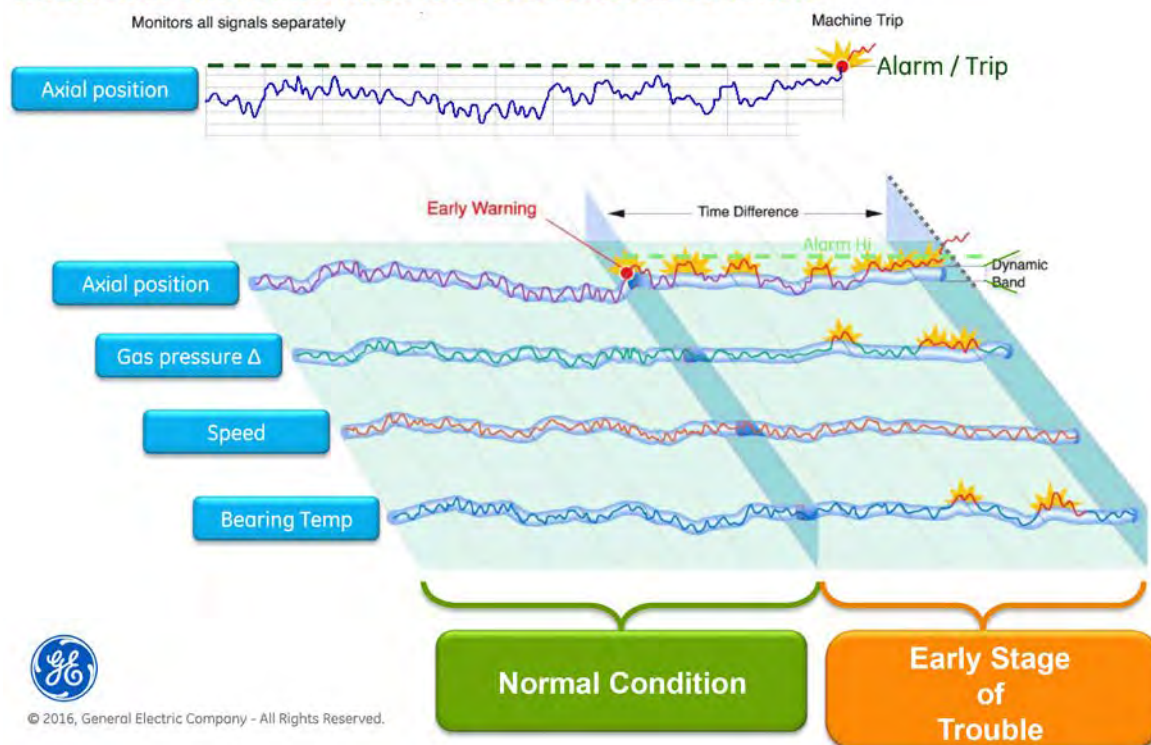
GE から顧客へのフィードバックとしては、収集データを使った対応として、現場でアルゴリズムを用いて分析及び評価を行うオンサイトモニターと、GE から毎月発行されるアセスメントレポートからなる。顧客はこれらを使って、メンテナンス時期や次回の定期点検での点検範囲を特定するといった判断を行うことができる。

GE は監視を通じた「スマート」な発電マネジメントを提案している。計画外停止においては、内部部品が徐々に劣化した結果、設備が停止し、その後に修繕するとなれば、多大なコストと長時間の停止を伴うことになる。一方、GE の言うところの「スマート」とは、センサーを通じて得られた多くのデータを基にトラブルの予兆を早い段階でキャッチし、計画外停止を避けるというものである。

早期にトラブルの予兆を見つけることは、設備が大きく劣化する以前に修繕を実施できるので停止時間を短縮でき、計画外の停止で復旧にかかるコストより、少ない予防保全コストで済ませられることに繋がる。同様の取り組みは、日系企業を含めた他社でも行われている。

「スマート」な発電マネジメントに向けて GE が提供するソフトは「SmartSignal」である。従来のプラント管理は、各監視項目ごとに閾値を設け測定値が閾値を超えたら設備を止めるという運用であった。SmartSignal では、独自のアルゴリズムで通常運転状態のモデルを作成し、運転状態が予測モデルからどれだけ乖離しているかということを確認することによってトラブルの予兆を見つける。

Traditional: Shut down when the value exceeds threshold



3.2.2 三菱日立パワーシステムズ (MHPS)

(1) 遠隔監視センター

MHPS は、遠隔監視センターを日本の兵庫県高砂市、米国フロリダ州オーランド、フィリピンのマニラに設置し、運転保守の専門スタッフが 365 日/24 時間 (3 交代) 体制で稼働状況の監視を行っている。また、これらの拠点には外国人スタッフが配置されており、英語、韓国語に対応しているとのことである。監視している台数は 116 台 (平成 28 年 1 月現在) で総発電出力が 2,000 万 kW 以上になる。

国	台数	国	台数
イギリス	5	シンガポール	6
アイルランド	1	オーストラリア	2
スペイン	1	日本	4
カタール	8	カナダ	2
トルコ	2	アメリカ	37
イスラエル	1	メキシコ	14
タイ	4	プエルトリコ	2
マレーシア	2	コロンビア	2
チリ	2	アルゼンチン	2
ニュージーランド	1	韓国	18

(2) 監視項目

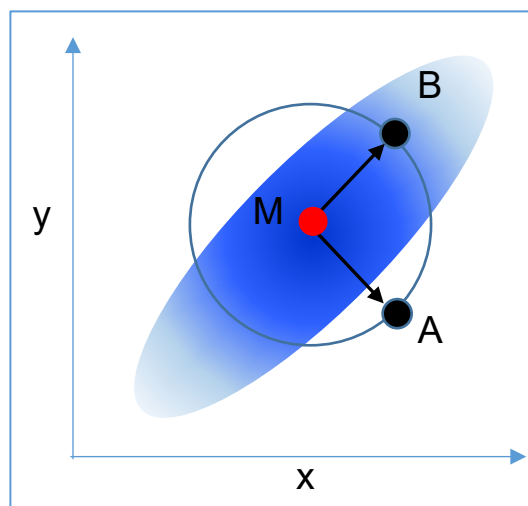
MHPS は、ガスタービン 1 基につき約 2,000 点のデータを収集する。主な項目は下表のとおりである。

- 回転数	- 出力	- 各種制御信号
- 燃料温度	- 燃料流量	- 燃料弁開度
- 空気圧縮機入口温度	- 空気圧縮機入口圧力	- ブレードパス温度
- 空気圧縮機出口温度	- 空気圧縮機出口圧力	- 排ガス温度
- NOx	- 燃焼振動	- 軸振動
- 軸受メタル温度	- ロータ冷却空気温度	- ディスクキャビティ温度

ガスタービン以外にも蒸気タービンやボイラー、発電機などのプラント全体の主要データも収集し、監視項目に追加可能である。

(3) MT 法を用いた異常監視

MHPS が異常診断に使っている手法は品質工学から発展した手法であり、マハラノビスータグチ・メソッド (Mahalanobis-Taguchi Method : MT 法) と呼ばれる。MT 法は多変量データをもとに正常なデータ群を単位空間と定義し、対象のデータがその集団に帰属するかどうかをマハラノビス距離で判定する手法である。マハラノビス距離とは標本データと対象データとの違いの度合いを定量化したものである。直感的に理解するために 2 次元で考える。右図のように標本群 (x, y) が楕円のように伸びた分布をしているとする。標本群の重心を M とすれば、A 点と B 点は座標上は同距離であるが、データの分布度合いを考えれば、つまり、右図でいえば楕円の短軸方向の長さ、長軸方向の長さを基準として A 点、B 点の重心からの離れ度合いを測れば、A 点のほうが標本群からは外れている (=距離が遠い) ので、A は標本群に属さない可能性が高いと判断する。



MT 法を用いることによるメリットは、多数のパラメータに対して同時に通常レベルから外れているかどうかをチェックするのではなく、マハラノビス距離という単一の指標のみに着目しておけば、システムが通常の状態から外れているのかどうかを判断できるという点にある。

MHPS では、標本データとして、プラントが正常に運転されている状態でのデータ（単位空間）を設定し、オンラインで対象データを取得しマハラノビス距離を計算し監視する。このマハラノビス距離が大きくなる傾向を示すと異常が発生しつつあると判断する。

マハラノビス距離は多数のパラメータを単一の指標で示しているため、異常が発生した場合にはその原因を調べる必要があるが、各項目の Signal to Noise (SN) 比を計算してマハラノビス距離に寄与している項目をランキングすることで原因調査の手がかりとすることができる。この SN 比ランキングでは異常予知の判断にいたったデータ項目を抽出するのみであるので、その項目そのものが原因ではない。従って何が根本原因となってそのデータが通常の挙動から外れているのかを検討するのはノウハウをもった技術者が行う必要がある。

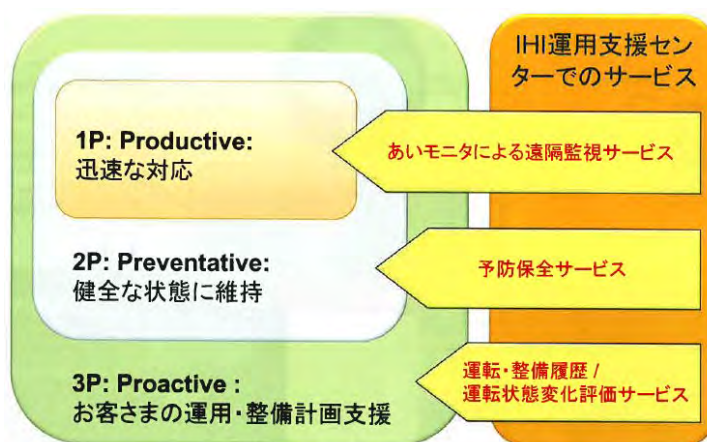
3.2.3 IHI

IHI は、海外営業の主力発電機器として LM6000 を取り扱っている。LM6000 は、GE が開発した航空機転用型のガスタービンであるが、IHI はその製造の一部を担い、かつ GE が製造した LM6000 のコアを IHI がガスタービン発電設備パッケージに組み立てていることから、IHI 製（日本製）ガスタービンとして認定されている。

IHI の考える遠隔監視を中心としたサービスは、Total Productive, Preventative, Proactive Maintenance (T3PM) と呼ばれるものであり、その概念図は以下のとおりである。これは右図に示すように 3 つの段階からなる。

一つ目が 1P : Productive であり、顧客のトラブルに迅速に対応することを指す。これを実現する

ためのツールとして IHI が提供しているのが「あいモニタ」と呼ばれている遠隔監視ツールである。IHI には顧客に納めた GT (LM6000) から取得したデータを監視する運転支援センター (i-MOTS : IHI Global Monitoring and Technical Service Center) があり、「あいモニタ」を使って 24 時間体制でデータを自動で収集・分析し、異常があれば関係部署に警報を発信する役割を担っている。警報が発信されればその度合いに応じて責任者が集まり、対応方法を迅速に検討し、サービスインへの処置を指示する。IHI によればトラブル発生から再起動まで 3 時間を目標にしているとのことである。



出典：IHI パンフレット

二つ目が 2P : Preventative であり、予防保全を行うことで設備を健全な状態に維持することを指す。予防保全とは蓄積した運転データから、将来起こるであろうトラブルを事前に検知し、或いは部品の余寿命を管理することで、重大な故障を未然に防ぐというメンテナンスの考え方である。

トラブルの事前検知は顧客のサイトから運転データ（リアルタイムの運転情報、起動停止情報、トリップ情報）を「あいモニタ」で取り込み、監視グラフ（パラメータトレンド監視、動作時間トレンド監視、X-Y パターン監視）を自動作成する。その後、システムにより異常を判定し、異常と判断すれば異常判定メールを IHI は同社が蓄積した膨大な運転データとトラブルシューティング履歴を活用し、顧客の発電設備の計画外停止率の低減を図ることで、発電設備の信頼性を向上させ顧客満足度の向上を図っている。同社によれば、本予防保全の取り組みにより実際に IHI 社納入ガスタービンパッケージと GE 社納入ガスタービンパッケージとを 1 年間の平均値で比較した場合、IHI 社のほうが GE 社より信頼性・稼働率において優位性が認められるようになっている。

三つ目が 3P : Proactive であり、顧客による発電設備の運用・整備計画を支援することを指す。具体的には工場整備履歴、フィールド整備履歴、運転データといった設備の整備・運転履歴情報を一元管理することで顧客による発電計画、メンテナンス計画の策定を支援する。

3.2.4 日本電気 (NEC)

NEC は、インバリエント分析という手法を用いて故障予兆に取り組んでいる。インバリエント分析とは平常時に成り立つ 2 センサー間の不変関係（インバリエント）を関係式として計算機が自動でモデル化を行い、その不変関係が崩れたら異常予兆と判定する。

このインバリエント分析を用いた故障予兆監視システムは、2014 年 6 月に中国電力の島根原子力発電所 2 号機にまず導入された。同原子力発電所では中国電力が蓄積してきたプラントデータを 2011 年から 2012 年にかけて解析し、過去の不具合事例の予兆を発見できるか検証を行った。入力されたプラントデータは原子力プラントの振動や温度などの 2,500 種類にのぼる。その結果、手法の有効性が検証できたことから、同発電所の技術訓練用施設に試験導入し、擬似的に様々な設備故障を発生させ、故障を予兆の段階で発見できることを実証した。

こうして実績を積んできたインバリエント分析は火力発電設備にも適用可能である。2014 年から 2015 年度にかけて NEC は中部電力とともに碧南火力発電所と上越火力発電所で実証試験を行い、それぞれ石炭と液化天然ガス (LNG) を燃料とする火力発電所での有効性を確認したとしている。

3.3 契約内容と運用状況

Kinyerezi I 発電所と打合せを行ったところ、GE は O&M サービスを TANESCO に提案中であり、まだ契約には至っていないとのことであった。Kinyerezi I によれば、GE から受けている O&M サービスの概要は下表のとおりである。

契約期間	運転開始から 2 年間
人員派遣	GE から 2 名の常駐エンジニアを派遣。役割は一般的な O&M サポート
教育・研修	GE は TANESCO スタッフを研修生としてヒューストンに受入れる。研修内容は、GTCC の起動停止を含む操作研修、一般的な保守及びトラブル対応
遠隔データ監視	GE がアトランタにある監視センターにおいて運転データのモニタリングを実施する。

3.4 日本企業の IoT の現状及び Kinyerezi I との比較

本章の冒頭に記述したとおり、発電所では多くの物理的計測データ（圧力、温度、流量等）と制御データがその運転のために利用されており、これらのデータを蓄積し、発電所のトラブルシューティングなどに活用する取り組みは、国内ではごく普通の取り組みとしてなされてきた。よって、この蓄積されてきた膨大なデータを分析にかけることで異常予知に活用できないかという取り組みが我が国でここ数年始まっている。異常予知システムは各社が様々な手法を提案しており、各手法について成功事例が紹介されているが、まだ実績が少なく評価が確立しているものはない。

JICA 調査団は、TANESCO や Kinyerezi I 発電所の所長へのヒアリングを行い、Kinyerezi I においてどのような提案がなされているか調査を行った。その結果、Kinyerezi I においては GE からまだ提案を受けていないとのことであり、日本企業との具体的な比較をすることはできなかった。しかしながら、日本メーカのヒアリングを通じて GE の IoT も日本メーカと同様の取り組みであり、GE が特に進んだ IoT を採用しているということはないとのコメントを受けた。

第4章 タンザニア国におけるガス火力発電の開発計画とその課題及び対応

4.1 最新の開発計画

現在、タンザニア国が計画を持っているガス火力発電所の開発計画は、9件（フェーズが異なるものや拡張はまとめてカウントしている）。各案件について、最新情報を以下に記す。

4.1.1 キネレジ I (Kinyerezi I)

(1) キネレジ I (Kinyerezi I: 既設)

TANESCO が所有する GE のガスタービン LM6000PF を 4 基設置したシンプルサイクルの発電所である。総合出力は 150MW (44.3MW×2, 35.94MW×2)。ユニット 2 基ごとに出力が異なるのは、#1・#2 号機 2 ユニットについては電動チラーを設置することで吸気冷却し、増出力しているためである。残る#3・#4 号機 2 ユニットにも将来、電動チラーを設置し増出力を図る計画である。EPC コントラクターは Jacobsen Elektro (ノルウェー)。当初は 2014 年の運開であったが、資金調達の遅れによりプロジェクトが遅延し、2015 年 10 月に 2 基 (35.94MW×2) が先行して運開、残り 2 基が 2016 年 1~2 月に運開している。プロジェクト総額は 183Mil USD。GTCC ではなく GT シンプルサイクルになった理由は、予算不足及び水不足に加え、納期を重視したためである。

O&M については、GE が長期サービス契約 (LTSA) を提案しているがまだ契約には至っていない。この LTSA の提案は遠隔監視サービスに加え、GE エンジニア 2 名のサイト常駐、TANESCO 職員のヒューストンでの研修メニューを含んでいる。

(2) キネレジ I (拡張) (Kinyerezi I extension)

Kinyerezi I には、さらに 185MW のガスタービンシンプルサイクルを増設する計画がある。機種は LM6000PF 3 基。2017 年運開を目指し Jacobson Elektro と交渉中である。プロジェクト総額は 182Mil USD。将来的にはコンバインド化する計画があるが、詳細設計や予算手当は未だなされていない。コンバインド化すれば、蒸気タービン用水が必要となるが、十分な水が確保できないと考えられ、復水器も空冷が採用される見込みである。

4.1.2 キネレジ II (Kinyerezi II)

タンザニア国で初の GTCC 案件である。MHPS のガスタービン H-25 を 6 基採用し 3-3-1 の設備構成のユニットが 2 系列である。総出力は 240MW (ガスタービン出力: 30MW×6、蒸

気タービン出力：30MW×2)。EPC コントラクターは住友商事、MHPS がガスタービンを供給、東芝プラントシステムが土木建築を含むガスタービン以外のスコープをカバーしている。当初、2015 年 12 月の運開を目指していたが、タンザニア国側の予算手当て等の遅れがあり、建設開始が遅れた。2015 年 3 月に融資契約が締結され、2015 年 12 月に着工している。2018 年初頭には GT 部分運開、2018 年に GTCC 全運開の予定である。総事業費は 344Mil USD、85%を国際協力銀行 (JBIC) と三井住友銀行 (SMBC)、残り 15%を Development Bank of Southern Africa (DBSA) が拠出している。

O&M については、まだ十分な協議を開始できていない。

燃料ガスについては、Kinyerezi I と同様に Mnazi Bay と Songo Songo ガス田の天然ガスを使用予定である。用水についても他のキネレジ案件と同様に現在建設中の Kinyerezi 複合発電所向けの水供給設備から水が供給される予定であるが、十分な水量が確保できないと考えられ、復水器は空冷が採用される。

4.1.3 キネレジⅢ フェーズ 1、2 (Kinyerezi III Phases 1, 2)

中国の Shanghai Electric Power Company が TANESCO と設立した Shang Tan Power Generation Company が進めている官民連携パートナーシップ (PPP) プロジェクトである。Shang Tan Power Generation Company の出資比率は Shanghai Electric Power Company が 60%で TANESCO が 40%である。総出力はフェーズ 1、フェーズ 2 それぞれが 300MW GTCC である。事業者とタンザニア国政府間の協議が進んでおらず、当初の運開スケジュールは 2016 年 3 月であったが、現在は 2018 年末となっている。総事業費はフェーズ 1、2 を合わせて 389.7Mil USD である。

4.1.4 キネレジⅣ (Kinyerezi IV)

中国系企業である Poly Group と TANESCO が PPP スキームで計画している発電所である。総出力は当初 450MW GTCC で計画していたが、その後、330MW に計画出力を減少させている。Kinyerezi III と同様に事業者とタンザニア国政府間の協議は進捗していない。運開スケジュールについては、当初 2015 年 6 月であったが、現状は 2019 年になっている。総事業費は 400Mil USD と想定されている。

4.1.5 ソマンガ・フング フェーズ 1、2 (Somanga-Fungu Phases 1, 2)

Kilwa Energy Co. Ltd.が進めるプロジェクトで 2 つのフェーズからなる。ガスタービンシンプルサイクルを設置し、210MW の発電所として運開させるフェーズ 1 と、蒸気タービン、排

熱回収ボイラ（HRSG）を追加してコンバインド化し総出力 320MW の発電所として運開させるフェーズ 2 からなる。運開スケジュールは、当初 2015 年 4 月を予定としていたが、現状、フェーズ 1 が 2018 年、フェーズ 2 が 2019 年に予定変更している。

この事業に関連して、ダルエスサラーム～ソマンガ・フング間の 400kV 送電線の建設が開始しており、現在約半数の住民との補償が完了したとのことである。

4.1.6 ムトラワ（Mtwara）

米国の Symbion Power と TANESCO の PPP スキームで進められているプロジェクトである。F/S が完了し、TANESCO がそれに対するコメントを送ったが未回答で、現在、両者間の打ち合わせは停滞しているとのことである。Symbion はガスタービンシンプルサイクルを志向しているが、TANESCO は GTCC を志向しているとのこと。締結した覚書（MOU）では 600MW の出力であったが、現在は 400MW で計画中である。運開スケジュールについては 2019 年を予定している。

4.1.7 ジンガ（Zinga）

Zinga 発電所は、Bagamoyo 発電所とも呼ばれており、インドの Kamal Group が事業者として進めている独立発電事業者（IPP）プロジェクトである。GTCC で計画されており、現在 F/S が進行中である。出力は 200MW で計画されている。タンザニア国側から事業者へ F/S に関するコメントを 2 年前に出し TANESCO は Kamal の新しい F/S レポートをレビューしている状況である。運開スケジュールは 2020 年を予定している。

4.1.8 ソマンガ（Somanga）

Somanga 発電所は、世界銀行のバックアップで進められている PPP パイロットプロジェクトである。元々ムクランガで計画されていたが、地点をソマンガに移動させた。GTCC で計画されており、出力は 300MW で計画されている。現状、pre-F/S はアドバイザーである K&M によってレビューされ、Full-F/S が実施されている。運開スケジュールは 2019 年を予定している。

4.1.9 ムクランガ（Mkuranga）

国家社会保険基金（NSSF : National Social Security Fund）が出資している PPP プロジェクトであり、TANESCO が 10%、NSSF が 20%、残りの 70%を Strategic Partner が出資する計画である。Strategic Partner については現在選定中である。F/S がまだ完了していないため、機器選定や設備構成は未定であるが、発電所出力は 300MW を予定している。運開スケジュール

は 2019 年を予定している。

4.2 課題と対応策

4.2.1 新規電源

タンザニア国政府は、BRN (Big Results Now!) というプログラムを策定し、2013 年から 2016 年にかけて 1,300MW の電源を開発しようとしていた。しかしながら、このプログラムは資金手当てや事業者との交渉遅延などにより、目標達成は厳しい状況となっている。

現在の発電事業計画は、すべて IPP や PPP によるもので、このまま推移すれば、ナショナル・グリッドの運用に支障を来すおそれもある。この対応として、円借等の政府開発援助 (ODA) で TANESCO 所有の発電設備を建設し、ナショナル・グリッドの電力系統安定化のため発電量のある一定量の負荷を担うことが望まれる。

また、TANESCO は Kinyerezi II GTCC で初めて蒸気タービンの運用を経験するが、ガスタービンやガスエンジンとは異なり、水質管理、排水処理等の運用・保守技術を習得することが要求される。このため、TANESCO 運転員が運用・保守技術をマスターするまで、コントラクターと O&M 契約することが望ましい。

4.2.2 既設電源

TANESCO の既設発電所は、総じてきめ細かく大切に使用されている。TANESCO 自身は、発電所の性能を最大限発揮させるためにメンテナンスが重要であることは認識しており、予算が各年度に計画的に適切に配分されるべきであるとも認識している。しかしながら問題は、予算制約のもと国の電源開発計画への対応と既存電源のメンテナンス計画とをどのようにバランスよく配分するかということである。

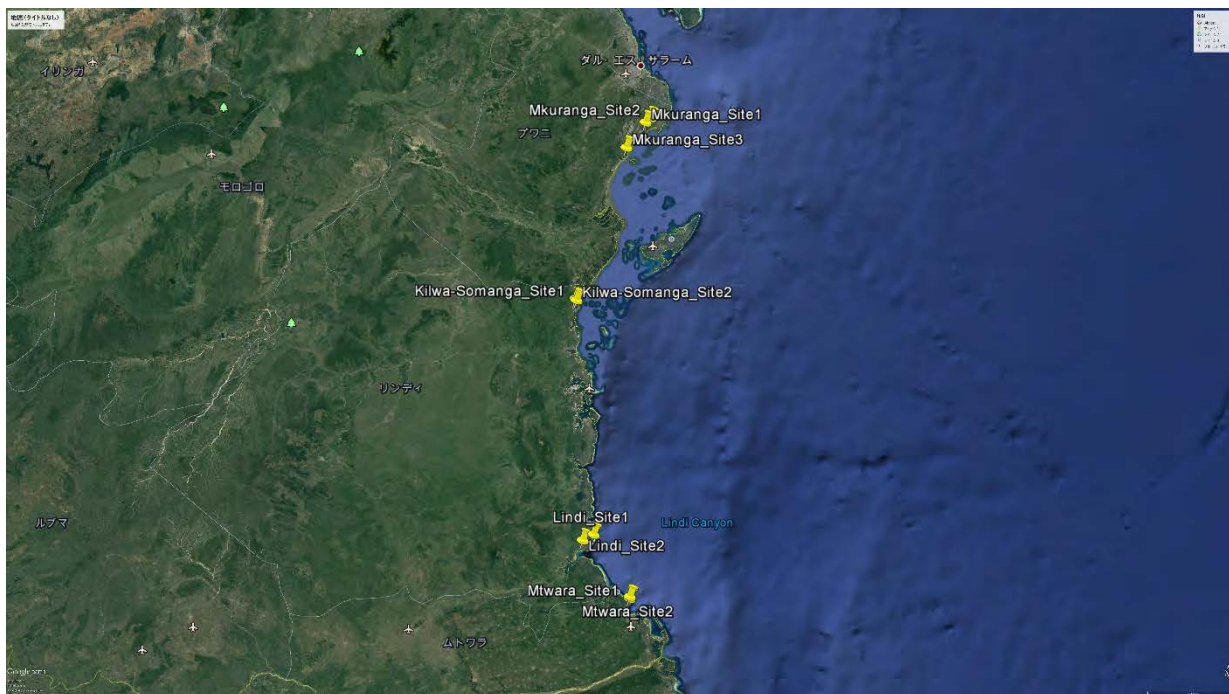
また、TANESCO は、発電、送・配電をコアビジネスとする事業会社として設立された。しかしながら TANESCO の主たる発電設備は水力、ガスタービン、ガスエンジンであるので、GTCC や蒸気タービンに関する専門性 (技術者) が不足している。よって、将来、ガス火力発電所を開発していく上で、GTCC ガス火力発電の運転、保守を担うことができる人材の確保・育成が重要となる。

第5章 新地点の現地調査結果

5.1 新地点候補

TANESCO は、2014 年 10 月 27 日から 11 月 6 日にかけて、英国 Mott MacDonald 等のコンサルタントの支援を受け、Mkuranga 250MW GTCC 建設のための Pre-F/S を実施した（Appendix III 参照）。

この調査により、ダルエスサラームからムトワラにかけての東海岸線に 9 地点の 250MW GTCC 発電所候補地点を選定した。図 5-1 にその候補地点を示す。



出典：TANESCO “Site Earmarking for the proposed Mkuranga 250MW CCGT Power Plant Project

図 5-1 250MW GTCC 候補地点

5.2 現地調査地点の絞り込み

JICA 調査団による発電所候補地点の現地調査は、約 1 週間で予定されていたため、TANESCO と協議して調査地点の絞り込みを行った。候補 9 地点を 15 項目のチェックシートでスクリーニングにかけ、4 地点に絞り込んだ。その結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 候補サイトのスクリーニング

Good Bad Worst

No.	Check Item	Mkuranga			Kilwa-Somanga		Lindi		Mtwara		
		Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 1	Site 2	Site 1	Site 2	
1	Power Demand	We assume that there is a strong power demand									
2	Transmission Line	400kV transmission lines will be constructed in 2019. But Mkuranga sites are apart from 40km from the transmission lines,					Request to construction a new gas-fired power plant with 400kV transmission lines is issued by Tanzania Government.				
3	Gas Supply Capability	It is confirmed that gas supply to a new gas-fired power plant (300MW class) is capable by the gas supply and demand balance of PSMP.									
4	Gas Pipeline Length	Distant (18~25 km)			Very short (0.4~1.2 km)		Distant (27~35 km)		Short (13)	Distant (20)	
5	Power demand near Site	Dar es Salaam			-		LNG terminal (future)		Cement, Nickels, Graphite factories		
6	Cooling Water System for Steam Turbine	It seems to be air cooling due to long distance from the sea (1.7~4.6 km)					Possibility of sea water cooling (0.4~0.6km)		Same as Lindi (0.8km)	Same as Mkuranga (4)	
7	Raw Water Supply	Raw water supply is crucial. Desalination plant (for whole area) or Town water (possibility only for Mtwara and Kilwa)									
8	Unloading/Transportation of Heavy Equipment	Dar es Salaam Port, then land transportation. But sites are apart from 45km from main road.			There is a port in Kilwa. (Reinforcement be required)		Jetty at the site seems to be required.		Same as Kilwa-Somanga site		
9	Land Space	By the site inspection									
10	Easiness of Land Acquisition	In general, land acquisition is not difficult in Tanzania.									
11	Site Conditions (Topography, Geology, Fault Zone)	Topography, Geology: By the site inspection Fault Zone: No fault zone in these area									
12	Oceanography (Sea level, Tidal wave, Tidal flow)	In general, shallow sea in these area, but deep sea are expected in Kilwa and Mtwara port sites (confirmed by the site inspection).									
13	Environmental Issue (Protected Area, etc.)	Mangrove forest. (cutting it needs permission from Authority)			Extensive wetland designated as the sanctuary by Ramsar Convention		Mangrove forest. (cutting it needs permission from Authority)				
14	Site Population	Unpopulated area									
15	Fishery Activity	Exclusive use of sea in front of a new gas-fired power plant is possible due to minor fishery activity.									
Overall Evaluation		Rank 3			Rank 4		Rank 2		Rank 1		

出典：JICA 調査団

スクリーニングの結果、ムクランガの 3 地点は海に近くなく海水冷却が期待できないこと。さらに、TANESCO の情報で 3 地点とも幹線道路及び送電線から遠距離であるため、除外した。キルワ・ソマンガの 2 地点は、ガスパイプラインが最も近くではあるが、候補地点は広大な湿地地帯でラムサール条約の対象地域のため、除外した。

従って、リンディの 2 地点とムトワラの 2 地点、合計 4 地点をサイト踏査することとなった。

5.3 現地調査地点の評価

(1) 現地踏査結果

現地踏査は、2016 年 8 月 29 日～9 月 2 日の約 1 週間で実施した。サイト踏査の実施期間中に、新たにリンディ 1 地点とムトワラ 2 地点を追加踏査することになり、合計 7 地点をサイト踏査した。表 5-2 はサイト踏査地点の説明である。

表 5-2 サイト踏査地点の説明

	Name of Site	Explanation
Mtwara	Mtwara Site 1	The site selected by TANESCO's investigation in 2014.
	Mtwara Site 2	Ditto
	Mtwara TANESCO Site	The site that TANESCO plans to obtain
	Mtwara New Site	The site that is found in the course of discussion with Mtwara Local Government
Lindi	Lindi Site 1	The site selected by TANESCO's investigation in 2014.
	Lindi Site 2	Ditto, and the site is former/old TANESCO's DG P/S
	Lindi New Site	The site proposed by TANESCO

出典：JICA 調査団

また、図 5-2 はサイト踏査地点の位置と、ガスパイプライン及びバルブ・ステーションの位置、並びに Ruvuma 河（タンザニア国とモザンビーク国の国境を流れている大河）からの水供給パイプラインと取水ポイント及び貯水タンクの位置を示している。



出典：JICA 調査団

図 5-2 踏査地点及び関連施設の位置図

サイト踏査にあたっては、サイトの地形、地質、海象、原水の供給の見通し、アクセス道路までの距離及び状況、ガスパイプライン接続点までの距離、重量物陸揚げ港の能力、プラント周りの住民の状況、地域の電力需要源、環境問題等の 10 項目を調査した（400kV 送電線までの距離については、送電線のルートが現状決まっていないので、後日確認することとした）。

以上の踏査結果の一覧を表 5-3「候補地点の調査結果（ムトワラ）」と表 5-4「候補地点の調査結果（リンディ）」に示す。さらに、両表の最下段に踏査した 7 地点に対するランキングを示している。踏査に同行した JICA 専門員、TANESCO エンジニアとも協議の上、Mtwara New Site を最も実現可能性が高い地点として、選択した。

表 5-3 候補地点の調査結果(ムトワラ)

No	項目	候補地点			
		Mtwara Site 1	Mtwara Site 2	Mtwara TANESCO Site	Mtwara New Site
1.	地形	標高1~2mの平坦な沿岸部低地。灌木が茂った空き地で多数のパオバブが生えている。300MWクラスのGTCC(複合ガス火力発電所)建設に十分な敷地がある。	標高約4mの平坦な沿岸部。灌木が茂った空き地で数本のパオバブが生えている。300MWクラスのGTCC建設に十分な敷地がある。	標高40~50mの平坦な高台。灌木が茂った空き地。1km×1kmの敷地面積があり、GTCC建設が可能である。	サイトは小さな半島の先端に位置する。標高4~5mの平坦な沿岸部。灌木が茂った空き地で5本のパオバブの木が生えている。300MWクラスのGTCC建設に十分な敷地がある。
2.	地質	表層はシルト砂で覆われ、岩やサンゴの死骸が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。	表層はシルト砂で覆われ、岩やサンゴの死骸が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。	表層はシルト砂や粘土で覆われ岩が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。	表層はシルト砂で覆われ、岩やサンゴの死骸が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。
3.	海象	砂浜や干潟のある浅海で、付近にマングローブはない。深海は2km以上先と予想される。	砂浜や干潟のある浅海で、数本のマングローブがある。深海は1~2km先と予想される。	サイトは狭い湾の奥から約300m離れている。	狭い砂浜と数本のマングローブがある深海に面している。深海までの距離は約0.6km先と予想される。
4.	原水の供給	ムトワラ・ルプマ河川水供給プロジェクトがあり。設計は完了して、現在MOFの精査を受けている。中国政府のファンド。承認ができれば、約2.5年で工事は完了する。水供給能力は2022年時点で約50,000m ³ /日の計画である。空港より南部の村落への水供給を計画しているが、300MWクラスのGTCCプラント(必要量は約300m ³ /日)の供給は可能である。その際、水はミキンダニに建設予定の1,000m ³ 容量の水タンクから配管で供給される。			
5.	アクセス道路	幹線道路からサイトまでの道は約5kmで道幅3~5mの未舗装道路。	幹線道路からサイトまでの道は約6.5kmで道幅3~5mの未舗装道路。	幹線道路からサイトまでの道は約7kmの未舗装道路。	幹線道路からサイトまでの道は約8kmで道幅3~5mの未舗装道路。
6.	ガス供給接続点までの距離	BVS 01からの距離は約13km	BVS 01からの距離は約20km	BVS 01からの距離は約9km.	BVS 01からの距離は約20km.
7.	400kV T/Lまでの距離	F/S段階で確認	F/S段階で確認	F/S段階で確認	F/S段階で確認
8.	ムトワラ港	100トン車両クレーン1台所有。隣接する石油会社が120トン車両クレーン1台を所有。他に42tonリーチステッカ3基、タグボート1隻所有。岸壁の長さは385mで平均海面から9.5mの深さ。付近に新岸壁(長さ:300m、水深;平均海面から13~14m)の建設が計画されている。			
9.	プラント周りの住民の状況	プラント予定地には住居は殆どない。隣接の村は約1km離れており、260家族853人が住んでいる。小規模の漁業が行われている。	プラント予定地には住居は殆どない。プラント予定地に隣接して200家族800人が住んでいる。小規模の漁業と牧畜が行われている。	プラント予定地には住居は殆どない。プラント予定地から2km離れて小さな村がある。	プラント予定地に3住居がある。プラント予定地に隣接して162家族593人が住んでいる。小規模の漁業が行われている。
10.	地域の主な電力需要源	セメント会社(ダンゴテ)、グラファイト、ニッケル、肥料工場、天然ガス処理プラント、水道局			
11.	環境問題	プラント予定地付近の大気汚染源は約10km離れたダンゴテ・セメント工業団地。	Mtwara Site 1と同じ。	プラント予定地付近の大気汚染源は約7km離れたダンゴテ・セメント工業団地。	プラント予定地付近の大気汚染源は約13km離れたダンゴテ・セメント工業団地。
12.	結論	(1)建設予定地は2~3mの盛土が必要。 (2)地質は良好と思われる。 (3)浅海のためS/Tの海水冷却は不能。空気冷却となる。 (4)重量物はムトワラ港で陸揚げ可能と思われるが、約5kmのアクセス道路は拡幅と舗装が必要。	(1)建設予定地は大規模な盛土は不要と思われる。 (2)地質は良好と思われる。 (3)約1kmで深海に達すればS/Tの海水冷却の可能性はある(今回測定は行っていない)。 (4)重量物はムトワラ港で陸揚げ可能と思われるが、約6.5kmのアクセス道路は拡幅と舗装が必要。 (5)プラント建設中・運転中の隣接村落に対する環境対策が必要。 (6)村民に対する雇用機会が期待される。	(1)建設予定地の盛土、掘削等は不要と思われる。 (2)地質は良好と思われる。 (3)高地のためS/Tの海水冷却は不能。空気冷却となる。 (4)重量物はムトワラ港で陸揚げ可能と思われるが、約7kmのアクセス道路は拡幅と舗装が必要。	(1)建設予定地の盛土は不要と思われる。 (2)地質は良好と思われる。 (3)深海に面し、かつ敷地高さも適しているため、S/Tの海水冷却が可能性である。 (4)重量物は取水口を積降機橋として利用することができ、アクセス道路の拡幅と舗装は不要となる。 (5)プラント建設中、運転中の隣接村落に対する環境対策が必要。 (6)村民に対する雇用機会が期待される。
ランキング		5	3	2	1

出典: JICA 調査団

表 5-4 候補地点の調査結果(リンディ)

No	項目	候補地点		
		Lindi Site 1	Lindi Site 2	Lindi New Site
1.	地形	標高 3 m の平坦な沿岸部。灌木が茂った空き地で数本のバオバブの木が生えている。300MW クラスの GTCC 建設に十分な敷地がある。	僅かにうねった丘陵地帯で、標高 35~40 m の高地。TANESCO の現在は使用されていない古い DG 発電所敷地内。300MW クラスの GTCC 建設に十分な敷地がある。	僅かにうねった丘陵地帯で、標高 7~8 m の高地。灌木が茂った空き地。300MW クラスの GTCC 建設に十分な敷地がある。
2.	地質	表層はシルト砂で覆われ、岩やサンゴの死骸が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。	表層はシルト砂や粘土で覆われ岩が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。	表層はシルト砂や粘土で覆われ岩が表土の下に埋まっていると思われる。断層帯はない。
3.	海象	砂浜や干潟のある浅海で、数本のマングローブがある。深海は 1~2 km 先と予想される。	敷地端から海岸は約 400 m 離れている。海岸は浅海でマングローブの森で覆われている。	浅海で砂浜はなく崖がある。海岸は大きなマングローブの森で覆われている。
4.	原水の供給	リンディ水供給プロジェクトが進行中で、7,500 m ³ /日の水を深層井戸からくみ上げてリンディ地区に供給する。このプロジェクトは 2016 年 12 月に完成する予定である。地下水量は豊富で、もう 1 トレイン設置も可能である。300MW GTCC プラント（必要量は約 300 m ³ /日）の供給は可能である。		
5.	アクセス道路	幹線道路からサイトまでの道は約 6 km で道幅 2~4 m の未舗装道路。	幹線道路からサイトまでの道は約 0.3 km で道幅約 3 m の未舗装道路。	幹線道路からサイトまでの道は約 1.5 km。
6.	ガス供給接続点までの距離	BVS 03 からの距離は約 35 km。	BVS 03 からの距離は約 27 km。	BVS 03 からの距離は約 31 km。
7.	400kV T/L までの距離	F/S 段階で確認	F/S 段階で確認	F/S 段階で確認
8.	リンディ港	陸揚げ用のクレーンはない。 現在の水深は満潮時で約 4m、平均水位で 2m である。現在浚渫中で、2016 年 9 月末の完成時には満潮時で 7~8 m となる。		
9.	プラント周りの住民の状況	プラント予定地には 1 住居がある。隣接の住居とは 0.2 km 離れており、3 家族 3 人が住んでいる。小規模の漁業が行われている。	プラント予定地には住居は殆どない。この付近は工業団地地域なので、近くに住居はない。	プラント予定地には住居は殆どない。隣接の村は 1.5 km 離れており、大きな村がある。小規模の漁業が行われている。
10.	地域の主な電力需要源	グラファイト、ニッケル、小規模な金鉱、将来の LNG ターミナル		
11.	環境問題	特になし	特になし	特になし
12.	結論	(1) 建設予定地は 1~2 m の盛土が必要 (2) 地質は良好と思われる。 (3) 浅海のため S/T の海水冷却は不能。空気冷却となる。 (4) 重量物はムトワラ港で陸揚げし長距離輸送し、かつ約 6 km のアクセス道路の拡幅と舗装が必要。	(1) 建設予定地を平坦にするため、盛土・掘削が必要と思われる。 (2) 地質は良好と思われる。 (3) 高地で、海岸にマングローブの森があるため S/T の海水冷却は不能。空気冷却となる。 (4) TANESCO の所有地なので、土地の買収は不要。 (5) 重量物はムトワラ港で陸揚げし長距離輸送する必要がある。 (6) 敷地の高さを下げるため、リンディ〜ムトワラ間の幹線道路側に土地を拡張する必要があるかもしれない。	(1) 建設予定地を平坦にするため、盛土・掘削が必要と思われる。 (2) 地質は良好と思われる。 (3) 浅海で、海岸に大きなマングローブの森があるため S/T の海水冷却は不能。空気冷却となる。 (4) 重量物はムトワラ港で陸揚げし長距離輸送し、かつ約 1.5 km のアクセス道路の拡幅と舗装が必要。
ランキング		7	4	6

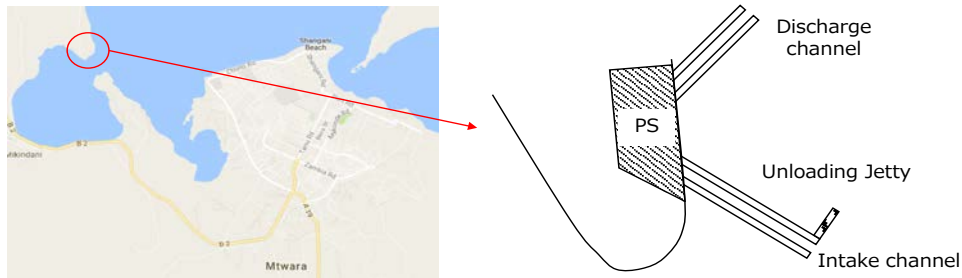
出典：JICA 調査団

(2) 最適地点の選定理由の説明

Mtwara New Site を最適地点として選択した理由を以下に示す。

- a) サイトは、発電所建設の理想的な高さの平地で大規模な土木工事は不要と判断される。
- b) サイトは、深い海に囲まれた小さな半島の先端に位置し、蒸気タービン冷却にプラント効率が高い海水冷却（One-through type）が採用できる。図 5-3 に蒸気タービン冷却のための3方式の比較を示す。
- c) 海水冷却用の取水路を重量物陸揚げ用の栈橋として利用できる可能性がある。図 5-3 にその栈橋の概念図を示す。このため重量物の陸送の必要がなくなり、アクセス道路の拡張／舗装及びそれに伴う住民移転の問題を解消できる。
- d) プラント建設時及び運転開始時点で、隣接する村落に対する環境対策が必要となる。しかしながら、プラントは環境負担の少ない天然ガス焼き火力発電所であり、石炭火力発電所のような環境汚染はない。予想される問題は、NOx、騒音、振動であるが、これらについては設計段階で適切なレベルに抑えることで解決できる。
- e) 発電所建設は、隣接する住民に新たな雇用あるいはビジネスチャンスを与える可能性もあり、これは住民にとってプラス効果となる。

Item	Sea water cooling	Cooling tower	Air-cooled condenser
Installation cost	High	Low	High
Efficiency of S/T	High	Medium	Low
Fresh water consumption	Almost 0	High	Almost 0
Space of land	Base	Almost same as sea water cooling	More vast
Land height above NSWL	4~5 m	No limitation	No limitation
Possibility of unloading Jetty	Yes	No	No
Notice 1	Hot water recirculation and heat accumulation have to be avoided	No notice	No notice
Notice 2	Mangrove forest area have to be avoided	No notice	No notice



出典：JICA 調査団

図 5-3 蒸気タービン冷却方式の比較及び重量物陸揚げ用の栈橋の概念図

(3) 最適地点でのプラント設置場所

図 5-4 は最適選定地点のエリアを示す。赤くハッチングした場所が発電所建設予定地である。この場所での 300MW クラス GTCC の概略配置については、第 6 章「新規ガス火力発電所の検討」で説明する。青くハッチングした場所は、バオバブの木が群生する場所で、駐車場等での利用は可能と考えられる。また、黒くハッチングした場所が隣接する村落である。



出典：JICA 調査団（図中の P1～6 は次頁以降の写真との対応を示す）

図 5-4 最適地点のエリア

次頁以降に踏査した調査 7 地点の写真を示す。

Mtwara Site 1



Baobab



Sea Shore



Fishing Activities (Small)



Land View



Mtwara Site 2



Sea Shore



Mangrove (Small)



Cattle Raiser



Village



Land View



Mtwara TANESCO Site



Land View



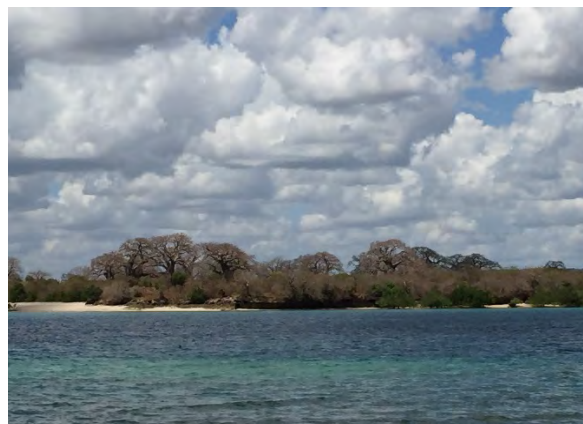
Land View



Mtwara New Site



Deep Sea



Sea Shore (P1)



Southern Edge Point (P2)



Baobab (P4)



Northern Edge Point (P6)

Lindi Site 1



Mangrove Forest



Sea Shore



Sea Shore



Land View



Lindi Site 2



Land View



Land View (Mangrove delta)



Former / Old DG Plant



Access Road

Lindi New Site



Land View



Eclipse of the Sun @1st September



Big Mangrove Forest



Outcrop of rock



第6章 新規ガス火力発電所の検討

6.1 本プロジェクトの必要性

タンザニア国では、将来の電力需要を見越した大胆な電源開発計画が検討されている。将来の電源としては TANESCO 所有の発電所と IPP 及び PPP に区分されるが（レンタル発電は廃止の方向）、現在実施中の JICA「電力システムマスタープラン（PSMP）」によると、進行中の電源開発計画はすべて IPP 及び PPP プロジェクトとのことである。IPP 及び PPP でナショナル・グリッドが支配されると、電力販売契約と利用率の関係で、電力需給バランスのフレキシビリティが失われる恐れがある。このため、TANESCO 所有の発電所がある程度のナショナル・グリッドの発電量負荷を担うべきだと思われる。

次に、300MW クラス GTCC をムトワラ地域に建設する必要性について検討する。このプロジェクトでの発生電力の供給（消費）先として、以下の4つが考えられる。

(1) 最大の電力消費地であるダルエスサラームへの送電

ムトワラ～ダルエスサラーム間は約 500km あるため、400kV の高圧送電線を使用するとしても送電ロスを考えると好ましい選択ではない。さらに、現在開発中の Kinyerezi 複合ガス火力発電所（I～IV）がダルエスサラームの将来の電力需要を賄う予定である。

(2) ムトワラ・リンディ地域での電力需要

表 6-1 は、ムトワラ・リンディ地域での予想電力需要である。

表 6-1 ムトワラ・リンディ地域での電力需要

項目	想定需要	備考
セメント会社(ダンゴテ)	90MW	ムトワラ工業団地。既に 45MW の自家発電設備所有
LNG Production Plant	100MW	TANESCO 概算値
グラファイト	45MW	3 社(Urenex:30MW, Pacco:5MW, Ngwane:10MW)。うち 2 社から TANESCO 宛て電力供給依頼が出されている
ムトワラ及びリンディ水供給プロジェクト	6MW	
地方電化プロジェクト	84MW	
ニッケル	6MW	
セメント	5MW	リンディ地域
肥料工場	3MW	
合計	339MW	

出典：JICA 調査団による TANESCO からの聞き取り調査

すなわち、ムトワラ・リンディ地域だけで本プロジェクトの発電量（300MW）を消費する潜在的な需要がある。

この他、上記表に含まれていないが、ムトワラ回廊プロジェクト（Mtwara Corridor：タンザニア、モザンビーク、マラウイ、ザンビアを結ぶ経済回路）の計画があり、道路、鉄道、ウラン・石炭・鉄等の鉱物資源の流通、港湾等でこの地域に電力需要が生み出される可能性がある。

また、ムトワラ地方政府は同地域の工業団地建設に取り組み、企業の誘致を積極的に行っているが、もし十分な電源が確保されると分かれば、応募する企業が増えることが期待できる。

ただ、ムトワラには第4章で紹介したように、米国 Symbion との PPP のため TANESCO がガス複合火力発電所建設用地（1km × 1km）の取得に乗り出している。PPP で同地に 400～600MW の GTCC 発電所群を建設する計画であり、Symbion の F/S に対し TANESCO が質問を投げかけている段階だが、現在、プロジェクトは停滞しているとのことである。従って、本プロジェクトを Symbion プロジェクトに先駆けて運開することが望まれる。

(3) モザンビークとの連系による電力供給

モザンビークとの国際連系に関しては、MOU が締結され、両国においてプロジェクトの開発・実行及びその F/S 実施に向けた資金調達の承認手続き中である。

(4) ムトワラ西部地域への電力供給

Songea (Ruvuma 河上流の町) に電力需要があるとの話もあるが、現在、送電線はない。220kV 送電線を Makambako～Songea に建設中であり、2018 年に竣工予定である。

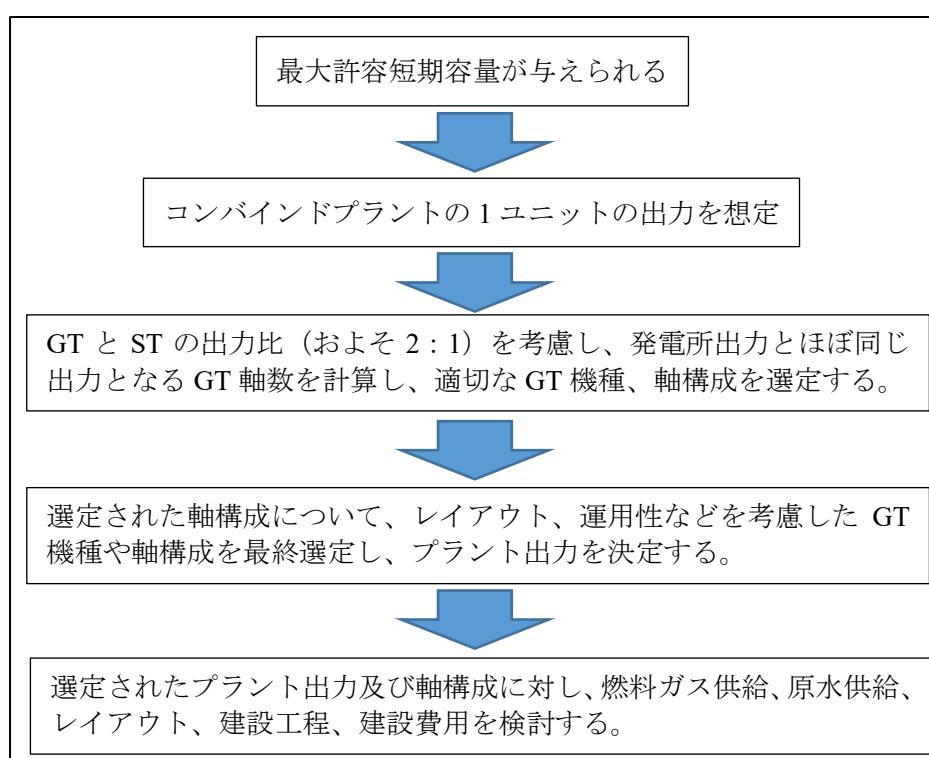
6.2 本プロジェクトの仕様

電力システムマスタープラン（PSMP）において、新規発電設備の最大許容単機容量の検討がなされている。最大許容単機容量とは、発電設備が事故によって系統から脱落した場合、電力の需要と供給のバランスが崩れ系統周波数に擾乱を与えるため、この系統周波数の擾乱が運用制限値内に収まるのに許容される単機容量である。これによれば、現時点でタンザニア国に設置されている最大単機容量の発電機は Kihansi 水力の 60MW であり、将来の最大許容単機容量は 2020 年において 132MW、2025 年において 236MW と計算されている。

GTCC プラントにおいては、ガスタービン用発電機と蒸気タービン用発電機から構成されるため、それぞれの発電容量が前記の許容単機容量以下であればよく、発電所全体の出力をさらに大きくすることが可能である。

(1) 仕様決定のフロー

発電所設備の検討当たっては、図 6-1 のフローで主要仕様を決定する。



出典：JICA 調査団により作成

図 6-1 GTCC プラント仕様決定フローチャート

以下、このフローに従って発電所仕様を検討する。

(2) GTCC 機種を検討

タンザニア国の系統周波数は 50Hz であり、本プロジェクトに対応する代表的な機種の GTCC として、Gas Turbine World 2014-2015 Handbook によれば、表 6-2 の候補 GTCC がある。

表 6-2 候補 GTCC

メーカー	機種	グロス出力 (ISO base)	ネット発電効率 (ISO base)
GE / IHI	LM6000PF	59MW	54.9%
	LM6000PF+	71.2MW	55.9%
	LM6000PG	74.2MW	52.2%
	LMS100PA+	135MW	51.5%
	LMS100PB+	128.8MW	52.4%
SIEMENS	SGT-800 (2010)	71.4MW	55.1%
	SGT-800 (2015)	74.1MW	55.6%
MHPS	H-25 (42)	120.2MW	52.8%
	H-100 (110)	157.5MW	54.4%

出典：Gas Turbine World 2016 Performance Specs.

GE は多数のガスタービン機種ラインナップを有している。一般に GTCC は出力が大きくなると、効率が上昇するが、GE の機種では LM6000PF+ が一番効率が良くこの機種を選定する。SIEMENS 対象機種は 2 種類で、これ以上の大きい機種は許容短機容量の制限を超えるため、効率の良い SGT-800 (2015) を選定した。

MHPS は H-100 (110) が許容単機容量の制限内で効率が良いので、この機種を選定した。

表 6-3 に本プロジェクトに最も適した各メーカーの機種である H-100 (110) (MHPS)、LM6000PF+ (GE / IHI) 及び SGT-800 (2015) (SIEMENS) についての検討結果を示す。

各 GTCC の効率に大差はないが、USD/kW についてはかなりの差がある（なお、表 6-2 と表 6-3 効率が若干違うのは、前者が 1 台のガスタービンでプラントが構成されるのに対し、後者は複数のガスタービンでプラントが構成されるため、ボトミングサイクルの効率が若干上昇するためである）。

発電設備の値段は一定ではなく、入札毎の各メーカーの思惑によりかなり変動する。ここでは GTW Handbook (2014-15) という世界的に認められた客観的データにより判断すると、H-100 (110) は、ほぼ同じ価格で LM6000PF+ より約 40MW 多く出力を出すことができる。

保守面については、LM6000PF+ はガスタービンを丸ごと飛行機でメーカー工場に持ち帰り、補修済のガスタービンと取り替えるので（ロールイン・ロールアウト）、迅速で信頼性は高いと考えられる。その反面、現地で予備品と取り替えるなどの補修を行う MHPS や SIEMENS と比べ、費用費、現地への技術移転、現地の雇用等で問題があると考えられる。

また、H-100 (110) は、GE / IHI、SIEMENS に比べ、ガスタービン、HRSG、蒸気タービンの

台数が半分のため保守にかかる手間が軽減される。ただ H-100 (110) は、現在、運転実績が日本国内だけで海外での実績を有していない。

表 6-3 各メーカー GTCC の比較

項目		MHPS		GE / IHI*		SIEMENS	
機種		(3 × H-28) × 2	2 × H-110	2 × LM6000PF	(2 × LM6000PF+) × 2	(2 × SCC-800) × 2	(2 × SCC-800) × 2
販売年		1988	2013	1997	2016	2000	2015
特長	タイプ	Heavy Duty		Aero derivative		Heavy Duty	
	特長	ベースロードに適する		ピークロードに適する		ベースロードに適する	
	大気温度特性	ベース		温度上昇による出力、効率の低下が大きい(チラーが標準設置)		ベース	
GTWでの比較	出力 MW (ISO ベース)	253.2	324	113	285 / 275	287.2	300
	効率 % (ISO ベース)	51.6	55.9	53.6	56.1 / 55.3	55.4	56.2
	GTW USD/kW (Standard bare bone price)	—	780	1,097**	923**	930	810**
保守	GT 数	6	2	2	4	2	4
	保守インターバル	ベース		ピークロード運転:長い ベースロード運転:若干短い		ベース	
	保守方法	現場での部品交換ベース		ガスタービン丸ごと交換ベース (航空機での工場持ち帰り)		現場での部品交換ベース	
	信頼性	ベース		高い		ベース	
	保守費用	ベース		高い		ベース	
	現地への技術移転	OJT の機会あり		OJT の機会なし		OJT の機会あり	
	現地での雇用機会	あり		なし		あり	
実績	アフリカでの実績	タンザニア Kinyerezi II	なし	モザンビーク Maputo	なし	未調査なるもある可能性大	未調査
	その他実績	多数の国内、海外実績あり	現状、国内実績のみ構造が異なるため、H28の実績を引継ぐのは困難と思われる	多数の国内、海外実績あり	タイで契約済案件有 LM6000PF の実績を流用可能と思われる	未調査 多数の国内、海外実績あると思われる	未調査 前モデル(1998)の実績を流用可能と思われる

*同一機種で GE と IHI の出力・効率が異なるのは、ボトムリングサイクル (HRSG+ST) の設計が異なるため。

**コンサルタント推定値

出典：JICA 調査団により作成

(3) GTCC 軸構成の検討

GTCC を建設する際には、軸の構成を検討する必要がある。軸構成は大きく分けて、図 6-2 に示す通り一軸型と多軸型に分かれる。一軸型 GTCC はガスタービン、蒸気タービン、発電機が同一の軸に接続されており、発電機が1基となる。一方、多軸型 GTCC はガスタービンを複数基、蒸気タービン1基からなり、発電機はガスタービン、蒸気タービンの各々に接続されるので、ガスタービンと蒸気タービンの基数分有している。

軸構成	構成図	特長
一 軸	<p>1on1 ×2 ユニット</p> <p>GT と ST が同一軸でひとつの発電機に接続されているシステム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・システム構成がシンプルであり、建設費用が安価となる傾向がある。 ・一軸ごとの起動停止が可能で、多軸に比べ運用性に優れる。また、起動性にも優れる。
多 軸	<p>2on1 ×1 ユニット</p> <p>GT と HRSG が別々の軸で構成され、GT/ST が各々に発電機を有するシステム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・定格運転時における発電効率が一軸に比べ優れる。(ST の大容量化により ST 効率が一軸に比べて良くなるため) ・GT 単機の先行建設により、工事着工から早期に発電が開始可能。つまり、GT の先行建設完了次第、GT 単体で運転開始し、後から HRSG, ST を接続する。

出典：JICA 調査団により作成

図 6-2 一軸型と多軸型 GTCC の比較

一軸型 GTCC の特長としては、起動停止時間が短く、中間負荷帯での効率が高いという特長がある。一方、多軸型 GTCC の特長は一軸型に比べて効率が高く、ベース電源としての役割を担うことが多い。

本プロジェクトでは、GTCC プラントの定格運転時の発電効率が高く、ベース電源としてのメリットを有する多軸型 GTCC を採用する。

(4) 蒸気タービン冷却方式

最有力候補地点は海岸から近いため、海水による蒸気タービン復水器の冷却及び所内冷却水の冷却が可能と考えられる。よって、本プロジェクトにおいては海水冷却方式を採用するが、参考として他の冷却方式との比較を表 6-4 に示す。

表 6-4 蒸気タービン冷却方式の検討

Item	Sea water cooling	Cooling tower	Air-cooled condenser
Installation cost	High	Low	High
Efficiency of ST	High	Medium	Low
Fresh water consumption	Almost 0	High	Almost 0
Space of land	Base	Almost same as sea water cooling	More vast
Land height above NSWL	4 ~ 5m	No limitation	No limitation
Possibility of unloading Jetty	Yes	No	No
Notice 1	Hot water recirculation and heat accumulation have to be avoided	No notice	No notice
Notice 2	Mangrove forest area have to be avoided	No notice	No notice

出典：JICA 調査団により作成

6.3 ガス供給計画

PSMPによると、2015年7月に Mnazi Bay の陸上と浅海部のガス田からダルエスサラームまでの口径 36 インチ×532km のガス・パイプラインが完成した。本プロジェクトにはガス・バルブステーション No.1 の接続バルブから約 20km のガス・パイプラインでガスの供給ができる。

ガスの供給能力については、PSMP にて将来のガス需要・供給バランスを作成中なので、次の F/S ステージで最終化するが、現時点でのバランスを図 6-3 に示す。

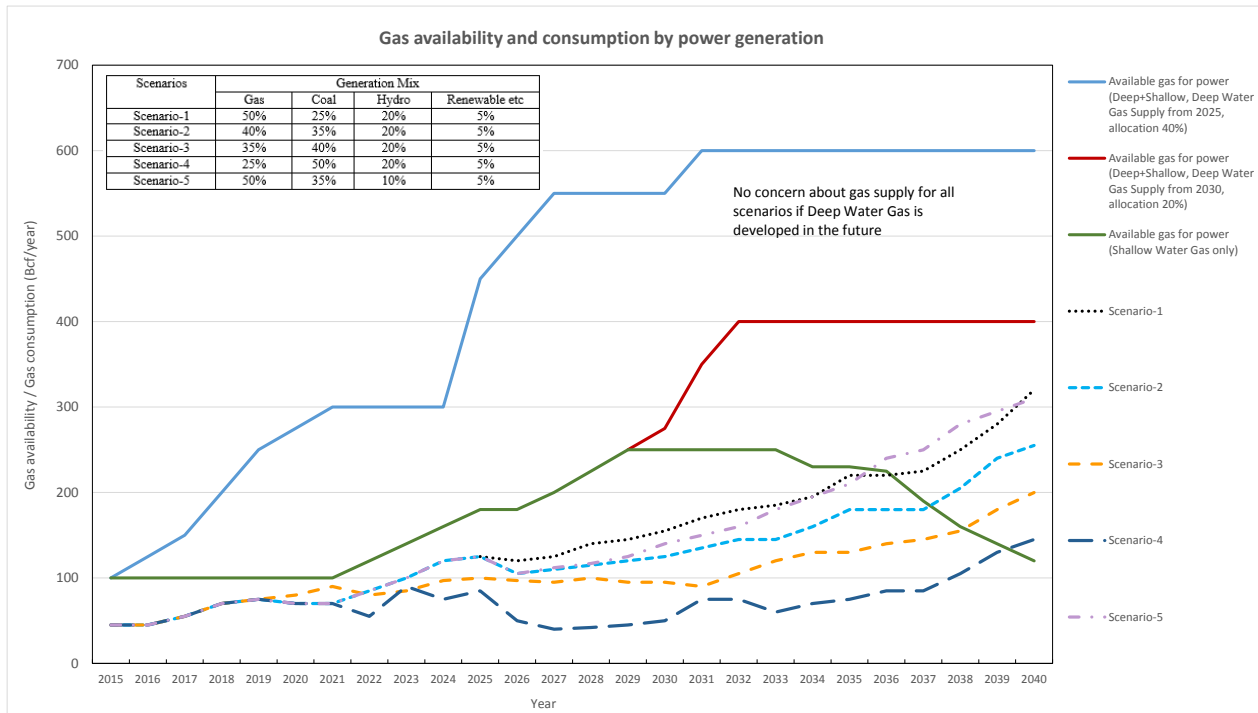


図 6-3 タンザニア国のガス需要・供給バランス

出典：PSMP

PSMP では電源開発計画として Scenario-2 の採用を推奨している。この図 6-3 のガス需要量には、本プロジェクトの必要ガス量は加味されていない。本プロジェクトが運開する予定の 2021 年が「ガス供給量／ガス需要量」が一番クリティカルとなる。その際の裕度約 27Bcf/year である。

300MW クラス GTCC の必要ガス量は約 14Bcf/year なので、本プロジェクトへのガス供給は確保される。また、2021 年を過ぎるとガスのマージンは増加するので、将来のガス供給は問題ないと考えられる。

6.4 原水供給

原水の供給については、第 5 章「新地点の現地調査結果」で説明したように、ムトワラ・Ruvuma 河水供給プロジェクトが計画中であり、資金の 85%は中国政府 ODA、残りの 15%が MOF 資金で土地の補償に使用される。現在、財務省（MOF）の承認待ちで承認が出れば約 2.5 年で工事は完成する予定である。給水量を段階的に上げていくが、本プロジェクトが運開するあたりの 2022 年には供給能力は 50,000m³/day である。本プロジェクトの使用原水量は約 300m³/day で、この給水能力の 1%に満たないことより、ムトワラ水道局より「発電所への水の供給は全く問題ない」との回答を得ている。

第 5 章「新地点の現地調査結果」の図 5-2 に示すように、Mikindani 付近に貯水タンクがあり、そこから本プロジェクトまで 10km 程度のパイプラインで給水可能である。

6.5 サイトのプロットプラン

第 5 章「新地点の現地調査結果」の図 5-2 に示す候補エリアに GE/IHI の (2 × LM6000PF+) × 2 と MHPS の 2 × H-110 を配置した場合の予備的検討を行った。どちらの機種でも候補エリアに充分収まる。



出典：JICA 調査団により作成

図 6-4 プロットプラン 1 GE(2×LM6000PF+)×2



出典：JICA 調査団により作成

図 6-5 プロットプラン 2 MHPS(2×H-110)

6.6 プロジェクト工程

本 Pre-F/S は 2016 年 10 月に完了した。その後は、F/S で本プロジェクトのフィージビリティの詳細確認及び環境評価を行い、タンザニア国政府との Loan Agreement の締結、コンサル選定、業者選定を経て、工事に入ると予想される。

現時点で想定される工程を表 6-5 に示す。TANESCO より 2021 年あるいはそれ以前での運開を求められており、次の F/S 段階で調整する必要がある。

表 6-5 予想プロジェクト工程

Item	Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Project Arrangement Stage								
• Pre-Feasibility Study		■						
• Preparation for Feasibility Study			■					
• Feasibility Study			■	■				
• Loan Agreement				▼				
Contracts with Consultant and Contractor Stage								
• Contract with Consultant				■				
• Contract with Contractor					■	■		
Construction Stage								
• Commissioning of #1 GT						■	■	
• Commissioning of Plant							■	■

出典：JICA 調査団により作成

6.7 プロジェクト価格の概算

GTCC を含め、発電所建設の定価はない。国際競争入札 (ICB) のように競争が激しければ価格は抑えられるし、随意契約のような競争のない場合は一般的に高くなる。この他、発電所建設の需要が高くなれば (すなわち売手市場)、価格は上がるし、逆の場合 (買手市場) は下がる。

従って、ここでは客観的データとして世界的に認められている GTW Handbook (2014-15) に基づいて発電設備の価格を推定した。送電線と併せた価格を以下に示す。

(1) 400kV 送電線の建設費

- ・ 同建設費の見積りは PSMP で現在検討中とのことなので、前回の MP (PSMP, 2012) に記載の USD 378.23 × 10³/km に安全を見て USD 400 × 10³/km で見積る。
- ・ ムトワラ～ソマンガ間の距離は Google Earth で約 300km と推定された。
- ・ 従って、建設費は USD 400 × 10³/km × 300 = USD 120 × 10⁶と予想される。

なお、最近入手した TANESCO の「ムトワラ～ソマンガ・フンガ 400kV 送電線」の Pre-F/S では、同区間に 2 ヶ所の変電所を建設する計画となっているが、上記 USD 120 × 10⁶にはこの 2 ヶ所の変電所建設費は含まれていない。

(2) 300MW クラス GTCC の建設費

- ・ GTW Handbook 記載の価格は Standard Bare Bone Price であり、コンサルの経験により価格の割り増しを行い、EPC 価格を見積った。さらに、EPC 価格に開発費、予備費、コンサル費用等を加え、プロジェクトコストを推定した。

その結果を下表に示す。

メーカー	MHPS	GE/IHI	SIEMENS
機種	2 × H-110	(2 × LM6000PF+) × 2	(2 × SCC-800) × 2
出力 MW (ISO ベース)	324	285/275	300
効率% (ISO ベース)	55.9	56.1/55.3	56.2
概略 EPC 価格	ca. USD 329 × 10 ⁶	ca. USD 330 × 10 ⁶	ca. USD 316 × 10 ⁶
概略プロジェクト価格	ca. USD 394 × 10 ⁶	ca. USD 396 × 10 ⁶	ca. USD 379 × 10 ⁶

(3) 送電線+GTCC の建設費

送電線と発電所を合計した建設費の概略値を下表に示す (変電所の建設費は含まず)。

メーカー	MHPS	GE/IHI	SIEMENS
概略合計価格 (USD)	ca. USD 514 × 10 ⁶	ca. USD 516 × 10 ⁶	ca. USD 499 × 10 ⁶
概略合計価格 (JPY*)	ca. JPY 54 × 10 ⁹	ca. JPY 54.2 × 10 ⁹	ca. JPY 52.4 × 10 ⁹

*USD 1 = JPY 105

第7章 送電線の検討

7.1 中長期計画における送電容量の確認

(1) タンザニア国における送電システムの現状

タンザニア国の送電システムの現状については、2014年10月21日に行われた「1st Partnership Exchange USAID/NARUC/East Africa Regional Regulatory Partnership」において、「Overview of Electricity Regulation in Tanzania」と題する発表の中で示された系統計画を図7-1に示す。

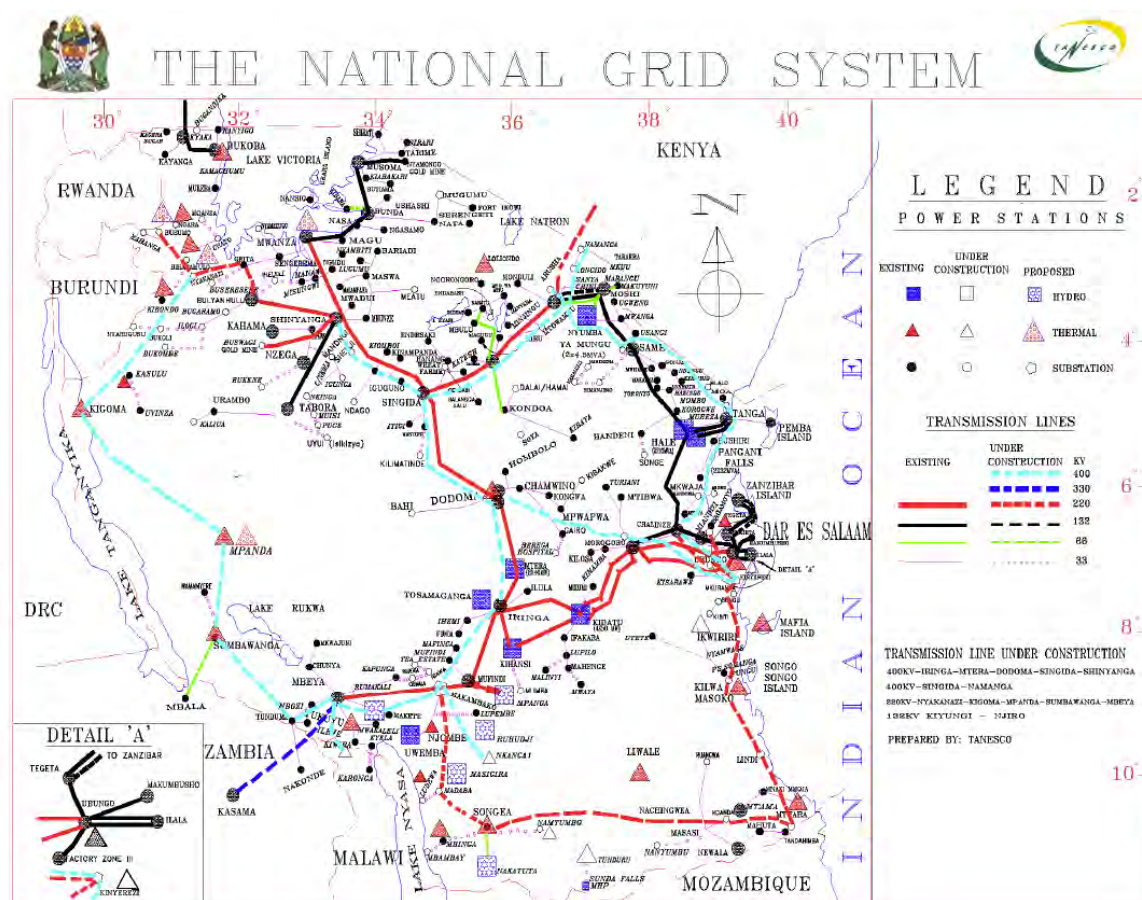


図 7-1 National Grid System (2014) in Tanzania

また、JICA 調査団による 2016 年 3 月に報告されたタンザニア国全国電力システムマスタープラン策定・更新支援 PJ (第 2 年次) プログレスレポート 3 においては、2014 年 9 月に TANESCO より入手された系統開発計画が図 7-2 のように示されている。

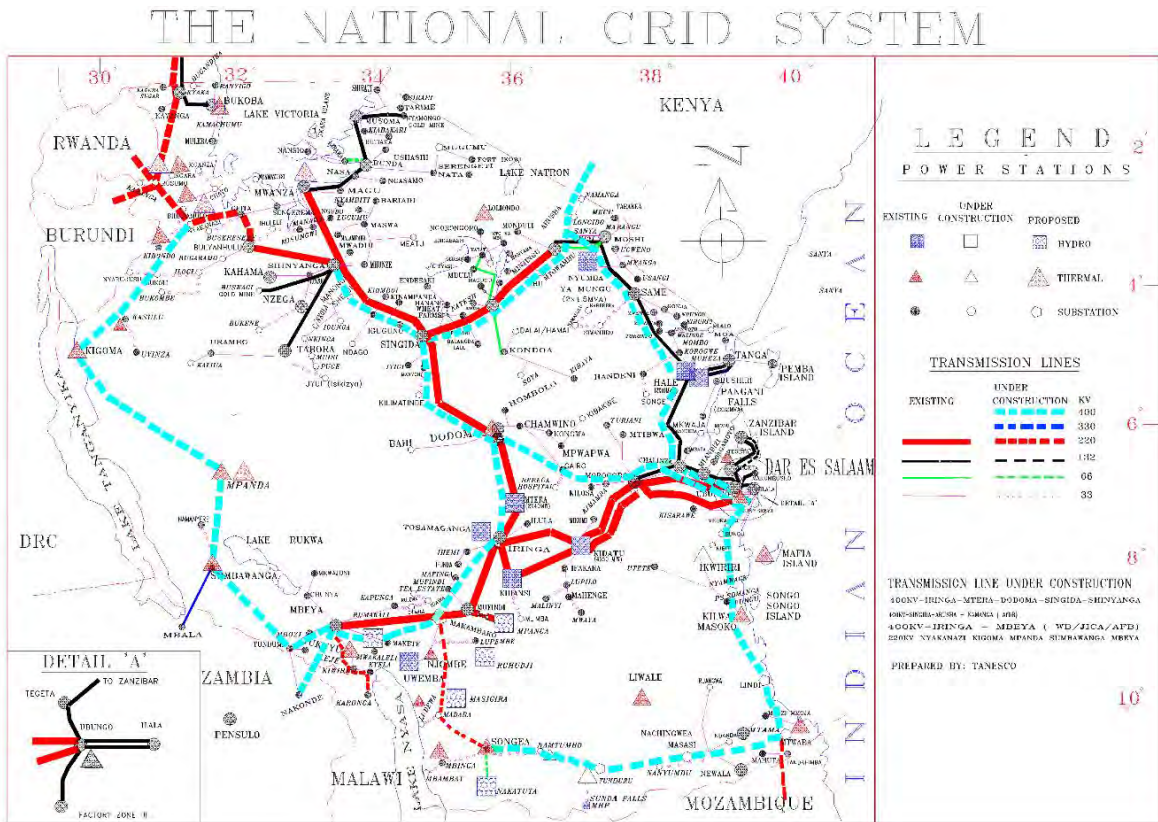


図 7-2 タンザニア国の系統開発計画図

これらの計画図より、2014 年断面でのタンザニア国における送電系統は、最高系統電圧が 220kV で運用されている。また、図 7-2 に示されている最新の送電系統によると、計画はすすめられており、後年度（2020 年）には 400kV 送電線の運用が計画されている。

(2) タンザニア国における送電系統の中長期計画

JICA 調査団による 2016 年 3 月に報告されたタンザニア国全国電力システムマスタープラン 策定・更新支援 PJ（第 2 年次）プログレスレポート 3 においては、2015 年より 5 年ステップで 2040 年までの系統構成が示されている。図 7-3、図 7-4 に 2015 年と 2020 年の系統構成図を示す。なお、2025 年から 2040 年の系統構成図は、参考資料 1 に添付した。

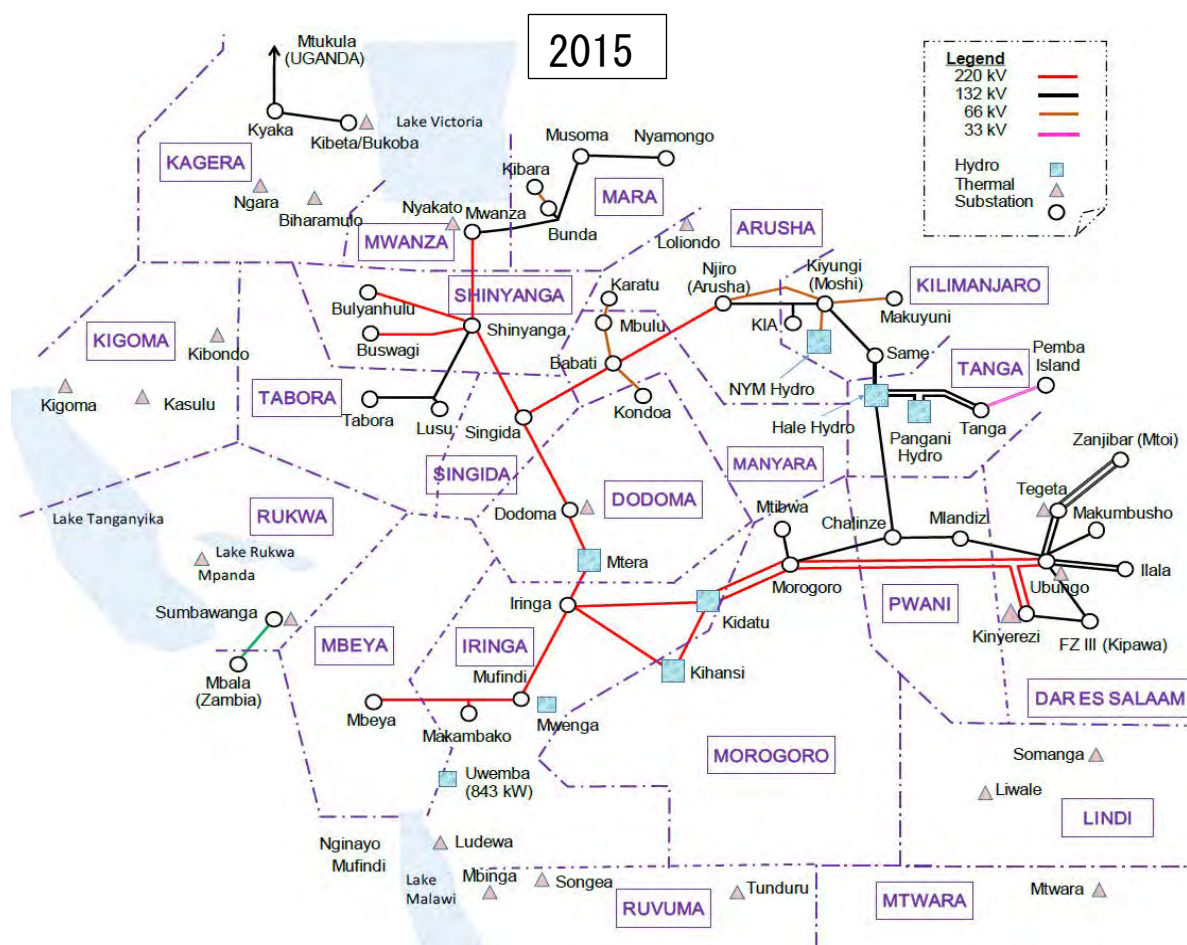


図 7-3 2015 年系統構成図

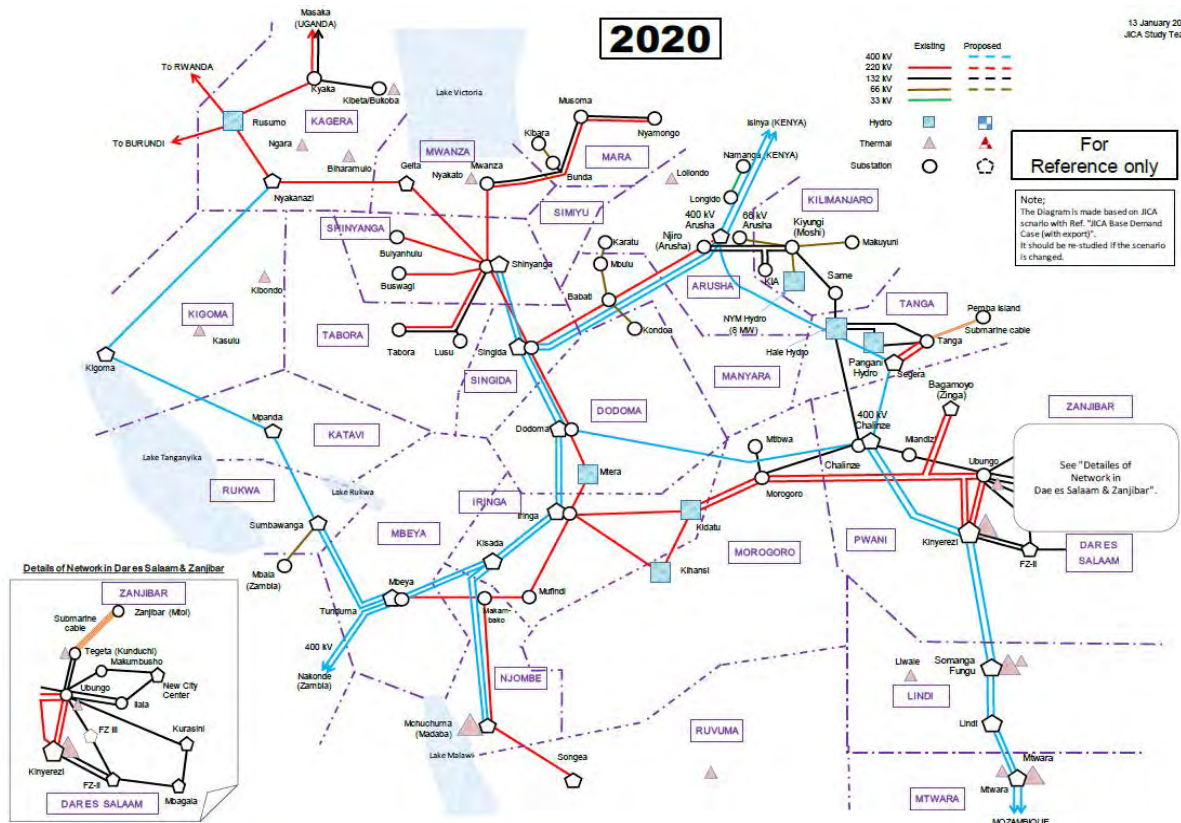


図 7-4 2020 年系統構成図

一方、タンザニア国における 400kV 送電線の導入については、RSW International Inc.による 2012 年 6 月付の Final Full Feasibility Report - R05 (Volume I - Report) 「Kenya-Tanzania Power Interconnection Project FS, DD and Preparation of Tender Documents」において、参考資料 2 に示すシナリオが下記のように報告されている。

1) 400kV バックボーン系統の確立

TANESCO においては、400kV バックボーン系統計画として、ケニア国との国際連系を踏まえた Singida～Isinya (ケニア国) と Singida～Shinyanga の北方面系統、Singida～Dodoma～Iringa の南方面系統を確立する計画となっている。

2) 400kV 導入・昇圧計画

• 2015 年	ケニア国際連系 (Isinya～Arusha)	400kV 運用
	Arusha～Singida	220kV 運用
	Singida～Shinyanga	220kV 運用
• 2020 年	Arusha～Singida	400kV 昇圧運用
	Singida～Shinyanga	400kV 昇圧運用
• 2025 年	Singida～Iringa	400kV 昇圧運用
• 2035 年	Babati	400kV 昇圧運用

前記の昇圧計画に関連して、キネレジにおいては、2020年に400kV運用が行われる予定である。

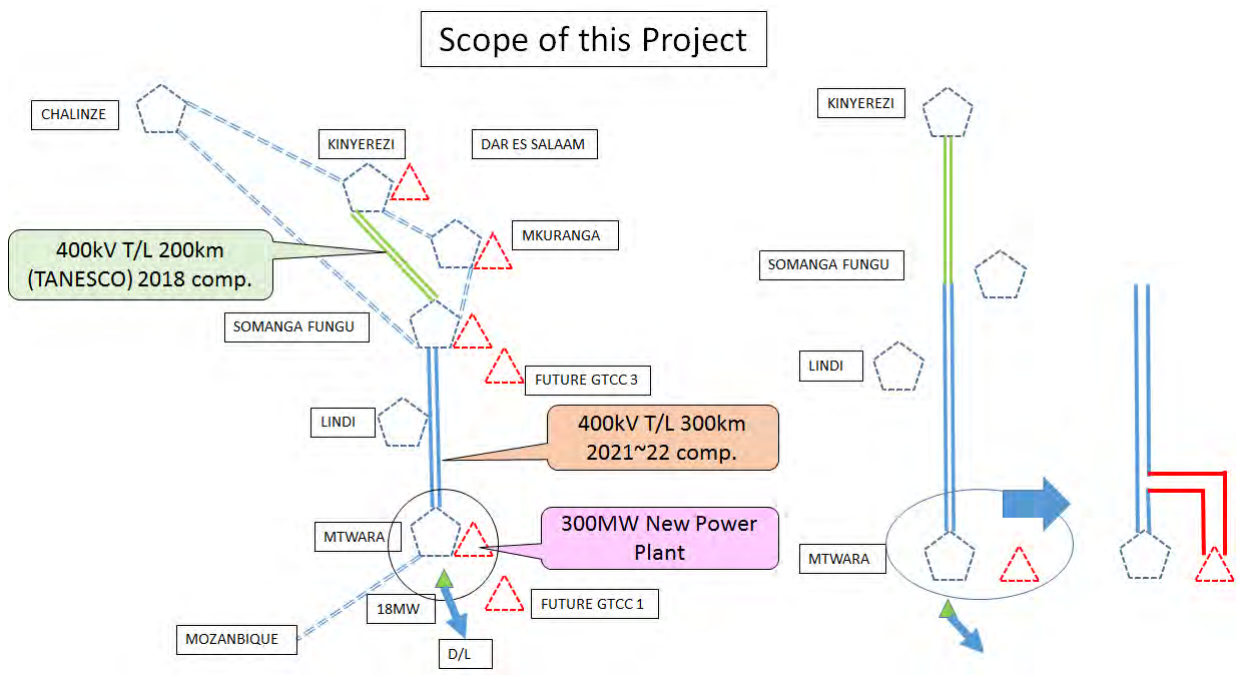
(3) 検討対象送電線について

今回検討対象の送電線については、図 7-5 に示す系統図において、Somanga・Fungu 変電所から Mtwara 変電所間の亘長約 300km の 400kV 送電線で 2021～2022 年竣工予定である。

この送電線は、以下に示すタンザニア国内の各種発電電力を需要地域まで送電する役割を持っており、必要不可欠の送電線である。

- a. Mtwara 変電所に 2025 年接続予定の南部火力発電 (IPP, Future CGT 1) 電力を、Somanga・Fungu 変電所～Kinyerezi 変電所を経由して、北部需要地 (ダルエスサラーム地域) に送る。
なお、Somanga・Fungu 変電所から先は TANESCO にて 2018 年竣工予定の Kinyerezi 変電所からの亘長約 200km の 400kV 送電線に接続予定である。
- b. モザンビーク国との 400kV 国際連系として、起点の Mtwara 変電所に国内電力の一部を送る。
 - ① 西側水力発電電力を 2030 年に Lindi 変電所を通して Mtwara 変電所に送る。なお、Lindi 変電所は 2025 年に設置される予定である。
 - ② Somanga・Fungu 変電所に接続される大火力発電 (Future CGT 2, 3) 電力を Mtwara 変電所に送る。

加えて、当送電線は、図 7-6 に示すガスパイプラインに沿ったルートで建設される予定である。



出典：JICA 調査団

図 7-5 検討対象送電系統図



出典：TANESCO “Site Earmarking for the proposed Mkuranga 250MW CCGT Power Plant Project

図 7-6 ガスパイプライン計画図

(4) 系統計画部門における検討対象送電線の送電容量年度推移

検討対象送電線には、当初 Mtwara 変電所付近に 300MW の IPP 火力発電所が建設され、この電力を Somanga・Fungu 変電所～キネレジ変電所へ送電する計画である。また、Mtwara 変電所は隣国のモザンビーク国との 400kV 国際連系接続点の機能も果たす計画である。

2020 年には、Somanga・Fungu 変電所の設置とともに、300MW の IPP 火力発電所が併設される予定である。

2025 年には、Mtwara 変電所から約 50km 地点に Future CGT 1（当初 200MW）の火力発電所が運開する予定である。

3030 年には Lindi 変電所に南回りの 400kV 送電系統が接続され、水力発電電力が導入される予定である。

2035 年には、Somanga・Fungu 変電所から約 50km 地点に Future CGT 3（当初 430MW）の火力発電所が運開する予定である。

2040 年には、Future CGT 1（最終 1,100MW）と Future CGT 3（最終 6,110MW）において発電所増設が行われる予定である。

このように、検討対象送電線の送電容量は、年度ごとに様々に変化することが予測されるが、現時点での最大送電容量の見積りが未定のため、本検討では、300MW の送電容量を想定することとした。

なお、今後最大送電容量が想定され次第、再検討の必要がある。

7.2 300km 規模の 400kV 送電線の電線サイズ・条数検討

JICA 調査団による 2016 年 3 月に報告されたタンザニア国全国電力システムマスタープラン策定・更新支援 PJ（第 2 年次）プロGRESSレポート 3 において、既設送電線と今後の 400kV 送電線の仕様が、表 7-1 と表 7-2 に示されている。また、USAID による Pre-FS 報告書「A DOUBLE CIRCUIT 400kV TRANSMISSION LINE FROM MTWARA TO SOMANGA」においては、表 7-3 に示す各種電線の送電容量と電界強度の計算結果より、Flint の 3 導体より Bluejay の 2 導体が提案されている。さらに、もう一つ重要な検討事項のコロナ放電ノイズについては、次節で検討されている。

一方、標準化も重要な要素である。事実、Bluejay 電線は現時点における建設中や計画中の送電線に使用されている。標準化により、送電システムの運用保守時に必要な補修部品の種類・量を減らすことができる。

表 7-1 既設送電線の電圧別使用電線

電圧	種類	導体名称	断面積 (mm ²)	※送電容量 (MVA)	備考
220 kV	ACSR	Bluejay	565	333	
		Bison	350	207	
		Pheasant	644	362	
		Rail	483	303	
132 kV	ACSR	Wolf	150	74	
		Hawk	241	121	
		Tiger	130	66	
	XLPE	—	300/400	143	海底ケーブル
		—	95	52	
66 kV	ACSR	Wolf	150	37	
		Rabbit	50	18	

※送電容量は、最大容量の80%としている。(TANESCO 標準)

出典：JICA 調査団作成

表 7-2 220kV～400kV 送電線の仕様

Parameter	400kV		220kV
Conductor	ACSR	ACSR	ACSR
Code Name	Bluejay	Bluejay	Bluejay
Size (MCM/mm ²)	1,113 / 564	1,113 / 564	1,113 / 564
No. of Circuit & Type	2-cct. Vert.	2-cct. Vert.	2-cct. Vert.
No. of Cond. per Phase	4	2	2
Current/Conductor (Amp)	1,092	1,092	1,092
① Full Rating (MVA)	3,026	1,513	832
② Normal Rating (MVA) = ① x 80%	2,421	1,210	666
③ Emergency Rating (MVA) = ② x 120%	2,905	1,453	799

出典：TANESCO データにより JICA 調査団にて作成

表 7-3 各種電線の送電容量と電界強度計算結果比較

	Bundle Mass (kg/km)	Diameter (mm)	X _L (Ω/km) ¹	Power Transfer Capacity [SIL] (MW/circuit) ¹	E _{MAX} (kV/m)	E _c (kV/m)	E _{MAX} /E _c
Twin Bluejay	3,740	31.98	0.2943	569	17.78	18.71	0.950294
Triple Bluejay	5,610	31.98	0.2568	652	14.28	18.71	0.763228
Quad Bluejay	7,480	31.98	0.2326	720	12.15	18.71	0.649385
Twin Flint	2,062	25.13	0.3019	554	21.73	19.21	1.131182
Triple Flint	3,093	25.13	0.2618	639	17.40	19.21	0.905778
Quad Flint	4,124	25.13	0.2364	708	14.77	19.21	0.768870

Note (1): These values are approximations based upon the assumptions described above.

出典：USAID, “Pre-F.S. relating to a 2 cct 400kV T/L from MTWARA to SOMANGA”

検討対象 400kV 送電線の電線種類と導体数については、表 7-2 に従って、Bluejay の 2、4 導体を候補とする。

(1) コロナ放電に対する電線サイズ・導体数の影響比較検討

400kV級の架空送電線においては、コロナ放電に伴うノイズの環境影響が問題とされる。コロナ放電に伴うノイズの制限値については、米国電力研究所（EPRI：Electric Power Research Institute）より提案されている「AC Transmission Line Reference Book, 200kV and over, Third edition, 2005」と、「ESKOM standards in South Africa」において、

- a. 2導体の場合は、外径 43mm 以上
- b. 3導体の場合は、外径 25mm 以上

この条件を満足する電線表面電位の傾きについては不明なことから、3導体の場合については、電線外径 25mm 以上が推奨されていることをベースに、FRINT・TERN・DRAKEの3種類の電線について表面電位の傾きを式(1)～(3)に基づき計算した。コロナオーディブルノイズの制限値は 52.5dB(A)と示されている。

この制限値をクリアする電線外径と導体数の関係については、下記の条件が提示されている。

任意方向の線表面電位の傾き(G)は、式(1)で求められる。

$$G = \frac{0.4343 \cdot E \cdot \left(1 + \frac{2(n-1)r}{a} \sin \frac{\pi}{n} \cos \theta\right)}{n \cdot r \cdot \log \left\{ n \cdot r \cdot \left(\frac{a}{2 \sin \frac{\pi}{n}}\right)^{n-1} \right\}^{1/n}} \quad [kV/cm] \dots\dots\dots (1)$$

$$D = \sqrt[3]{D_{ab} \times D_{bc} \times D_{ca}} \quad [m] \dots\dots\dots (2)$$

$$E = V / \sqrt{3} \quad [kV] \dots\dots\dots (3)$$

- ここで、
- G : 任意方向の電線表面電位の傾き (kV/cm)
 - E : 対地電圧 (kV)
 - V : 送電電圧 (公称電圧) (kV)
 - r : 電線半径 (cm)
 - D : 等価線間距離 (cm)
 - D_{ab}・D_{bc}・D_{ca} : 各相間距離 (cm)
 - a : 素導体間隔 (cm)
 - n : 導体数 (本)
 - θ : 最大表面電位の傾き方向と任意の電線表面電位の傾き方向とのなす角 (0 ≤ θ ≤ 90) (度)

最大電線表面電位の傾き (Gmax) は、 $\theta = 0$ 度の場合として求められる。計算結果を表 7-4 に示す。

表 7-4 各種電線の最大表面電位の傾き比較表

電線名		FLINT	DRAKE	TERN
外径	mm	25.17	28.14	27
単位重量	kg/m	1.028	1.628	1.334
Al 断面積	mm ²	375	402.56	403.77
St 断面積	mm ²	0	65.44	27.83
総断面積	mm ²	375	468	431.6
線膨張係数	*/°C			
弾性率	kg/mm ²			
抗張力	kN			
DC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.0774	0.0717	0.0715
電線許容電流カタログ値	A	577	615	610
AC 係数				
AC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.087772	0.081308	0.081081
電線許容電流	A			
導体数		3	3	3
素導体間隔	m	0.4	0.4	0.4
AB 相間隔	m	13	13	13
BC 相間隔	m	13	13	13
CA 相間隔	m	26	26	26
GMD	m	16.37897	16.37897	16.37897
GMR	m	0.159099	0.165126	0.162865
インダクタンス値	mH/km	0.943478	0.936042	0.938799
リアクタンス	Ω/km	0.296402	0.294066	0.294932
限界送電距離	km	931.4156	938.8145	936.0575
電圧降下	kV	13.12546	12.37266	12.35665
表面電位の傾き	kV/cm	14.63839	13.35236	13.81347
送電ロス	MW	2.735425	2.533979	2.526911

出典：JICA 調査団

表 7-4 より、外径が 25mm に最も近い FLINT で、14.65kV/cm の値が得られたことから、電線の選定条件には電線表面電位の傾きについて、この 14.65kV/cm を制限値に採用することとした。

なお、日本においては、参考資料 2 に示すように、ノイズレベルは 52.5dB(A)と同じであるが、電線表面電位の傾きは 15.5kV/cm が想定されている。

(2) 検討対象 400kV 送電線の電線種類と導体数におけるコロナ放電検討

TANESCO にて 400kV 用電線の仕様については、前述の表 7-2 に示されているように、Bluejay の 2、4 導体が選定されている。

この電線に加えて、外径 25mm 相当の各種電線の 3、4 導体を選定し、これら電線の最大電線表面電位の傾きを計算して比較した結果を表 7-5 に示す。対象電線は、Hawk、Zebra 及び Garnet である。

表 7-5 より、Bluejay × 2~4 導体、Hawk × 4 導体、及び Zebra・Garnet × 3、4 導体が 14.65kV/cm の制限値をクリアしている。

表 7-5 各種電線の表面電位の傾き比較表

電線名		Bluejay	Bluejay	Bluejay	Zebra	Zebra	Zebra	Hawk	Hawk	Gannet	Gannet
外 径	mm	31.98	31.98	31.98	28.62	28.62	28.62	21.77	21.77	25.76	25.76
単位重量	kg/m	1.866	1.866	1.866	1.621	1.621	1.621	0.9751	0.9751	1.3633	1.3633
AI 断面積	mm ²	565.49	565.49	565.49	428.9	428.9	428.9	241.65	241.65	338.26	338.26
St 断面積	mm ²	38.9	38.9	38.9	55.6	55.6	55.6	39.19	39.19	54.9	54.9
総断面積	mm ²	604.39	604.39	604.39	484.5	484.5	484.5	280.84	280.84	393.16	393.16
線膨張係数	*/°C										
弾性率	kg/mm ²										
抗張力	kN	127.66	127.66	127.66	131.9	131.9	131.9	81.84	81.84	110.31	110.31
DC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.0511	0.0511	0.0511	0.0674	0.0674	0.0674	0.1195	0.1195	0.0854	0.0854
電線許容電流カタログ値	A	745	745	745	636	636	636	451	451	553	553
AC 係数											
AC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.057947	0.057947	0.057947	0.076432	0.076432	0.076432	0.135513	0.135513	0.096844	0.096844
電線許容電流	A										
導体数		4	3	2	4	3	2	4	3	4	3
素導体間隔	m	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
AB 相間隔	m	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
BC 相間隔	m	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
CA 相間隔	m	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
GMD	m	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897
GMR	m	0.275836	0.172319	0.079975	0.268287	0.166059	0.075657	0.250551	0.151586	0.261317	0.160333
インダクタンス値	mH/km	0.829259	0.927514	1.089369	0.834809	0.934914	1.100469	0.848487	0.953152	0.840073	0.941933
リアクタンス	Ω/km	0.260519	0.291387	0.342235	0.262263	0.293712	0.345722	0.26656	0.299441	0.263917	0.295917
限界送電距離	km	1059.705	947.446	806.678	1052.659	939.9467	798.5413	1035.69	921.9619	1046.063	932.9429
電圧降下	kV	9.376653	9.715233	10.27297	11.47525	11.82021	12.39069	18.16904	18.52971	13.78974	14.14074
表面電位の傾き	kV/cm	10.34109	12.03484	14.65429	11.30229	13.1689	16.07965	14.1545	16.52739	12.31294	14.36
送電ロス	MW	1.354459	1.805946	2.708919	1.786508	2.382011	3.573016	3.167474	4.223298	2.263617	3.018156

出典：JICA 調査団

(3) 最大送電容量と系統安定な送電距離

送電線が長くなると、送電容量が大きい場合は系統運用が不安定となるため、送電容量に制約が生じる。

長距離送電容量については、電線のインダクタンスと受電端の電力位相角の制限によって、式(4)~(8)で求められる。

$$P_{max} = \frac{V^2}{X \times L_d} \sin \theta \quad [MW] \dots\dots\dots (4)$$

ここで、	P_{max}	: 最大送電容量	(MW)
	V	: 送電電圧	(kV)
	X	: 電線リアクタンス ($=2\pi fL \times 10^{-3}$)	(Ω/km)
	L	: 電線インダクタンス	(mH/km)
	L_d	: 送電線距離	(km)
	θ	: 受電電力制限位相角 (15度以下)	(度)

多導体電線のインダクタンス(L)は、式(6)~(9)で求められる。

$$L = \left(\frac{0.05}{n} + 0.4605 \log \left(\frac{GMD}{GMR} \right) \right) \left[\frac{mH}{km} \right] \dots \dots \dots (5)$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{ab} \times D_{bc} \times D_{ca}} \quad [m] \dots \dots \dots (6)$$

$$GMR = K \cdot \sqrt[n]{r \cdot a^{n-1}} \quad [m] \dots \dots \dots (7)$$

$$K = \sqrt[n]{\frac{n}{\left\{ 2 \sin \left(\frac{\pi}{n} \right) \right\}^{n-1}}} \dots \dots \dots (8)$$

ここで、	L	: 多導体電線のインダクタンス	(mH/km)
	GMD	: 等価線間距離	(m)
	GMR	: 等価電線径	(m)
	$D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}$: 各相間距離	(m)
	n	: 導体数	(本)
	r	: 電線半径	(m)
	a	: 素導体間隔	(m)

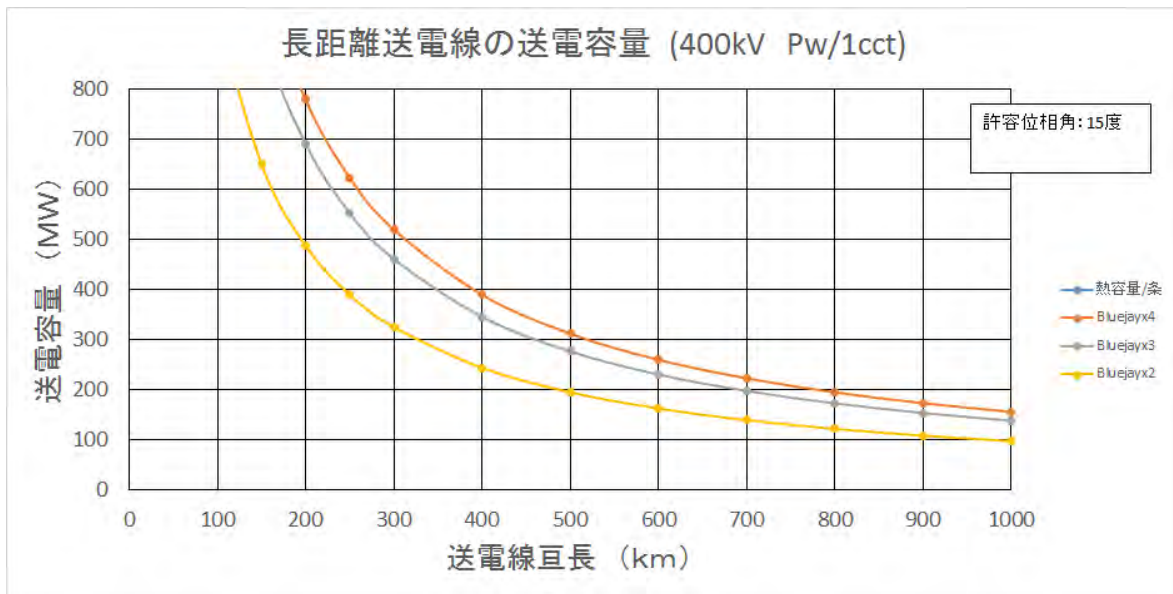
前出の表 7-5 に、各種電線の 2、3、4 導体に対するインダクタンスを示すが、電線外径の差は少なく、2 導体では 1.09mH/km、3 導体では 0.94mH/km、4 導体では 0.83mH/km 程度の値となっている。

TANESCO における 400kV 仕様電線の Bluejay 電線について、送電可能距離を求めた結果を図 7-7 に示す。

図 7-7 より、例えば 300MW の容量を送る場合は、2 導体では 320km、4 導体では、510km の距離まで送電可能といえる。

なお、2回線送電線で300MWを送る場合は、片回線停止時には1回線で300MWを送ることとなり、系統安定度の面から、前述の結果となる。

このことは、当プロジェクトにおけるムトワラからソマンガ・フングまでの送電線距離300kmにおいては、2導体で十分送電可能となる。ただし、当初運用時には、ソマンガ・フングは未竣工のため、さらにキネレジまでの200kmを送る必要があり、これを考慮すると500kmの送電線距離となって4導体が必要となる。



出典：JICA 調査団

図 7-7 Bluejay 電線の最大送電容量と送電距離特性

(4) 電圧降下の検討

長距離送電線においては、受電端の電圧が送電線のインピーダンスによって送電容量に関係した電圧降下を生じる。電圧降下は、式(9)で計算できる。

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{3}(R_{AC} \cdot I \cdot \cos \theta + X \cdot I \cdot \sin \theta) \cdot l \\
 &= \sqrt{3} \left(R_{AC} \times \frac{P}{\sqrt{3}V_R} + X \times \frac{Q}{\sqrt{3}V_R} \right) \cdot l \\
 &= \frac{1}{V_R} (P \cdot R_{AC} + X \cdot Q) \times 10^3 \cdot l \quad [kV] \dots \dots \dots (9)
 \end{aligned}$$

ここで、 v : 電圧降下 (kV)

V_r	:	受電端電圧	(kV)
P	:	負荷の有効電力	(MW)
Q	:	負荷の無効電力	(MVar)
$\cos \theta$:	負荷力率	
R_{AC}	:	電線の交流抵抗	(Ω /km)
X	:	電線のリアクタンス	(Ω /km)
l	:	送電線亘長	(km)

前述の表 7-5 に、各種電線・導体数で 300km 送電線としての電圧降下を計算した結果が示されている。これらの値は、9~19kV の範囲であり、1 回線事故時には 2 倍の 18~38kV となるが、400kV 級の電圧降下は±10%とすれば、40kV 以内に収まっていることから、送電容量・送電線亘長への制限は認められない。ただし、運用当初のソマンガ・フングを超えてキネレジまでの 500km を送電する場合は、電圧降下の問題が懸念される。

7.3 従来電線に対する低ロス電線仕様の検討

(1) 低ロス電線の採用

低ロス電線の導入にあたって、既設鉄塔の活用を図る場合は、鉄塔に加わる電線風圧や電線重量の設計値をオーバーしないようにするため、従来電線の外径と単位重量が同等以下で、連続許容電流も同等以上の条件が確保されていることを確認する必要がある。これらの条件を確保していれば、既設・新設いずれの送電線にも適用することが可能であり、運用後に必ず発生する送電ロスが低ロス電線の採用により低減されることから、これに伴うコストメリットが確実に得られることとなる。

(2) 低ロス電線の特長

低ロス電線は、台形アルミ素線を撚り合せた鋼芯アルミより線で、従来型よりも導体であるアルミ断面積の占有率が高くなること、ならびに特強鋼心の適用により細い鋼素線を用いて鋼断面の占有率を下げ、重量を減らすとともに、結果としてアルミ断面を増やしていることから、従来型の電線外径と同一とした場合は、電線抵抗が小さくなり、送電ロスを低減できるものである。

また、従来型の電線抵抗値を同一とした場合は、電線外径や単位重量が小さくなり、風圧荷重や電線重量の軽減に伴う支持物の小型化が期待できるものである。

(3) 低ロス電線の設計仕様

低ロス電線の設計は、対象電線の重量と等価にする場合、電線外径と等価にする場合、任意の電線サイズの場合と種々の方法がある。本検討においては、対象電線の重量と等価にする場合を選定して、設計を進めるものとする。

重量等価に設計することは、電線外径が小さくなって電線風圧荷重の低減による耐荷重安全率の裕度が望めること、最大使用張力や電線弛度が変わらないこと等により、Bluejay 電線による基本設計への再検討が不要であることのメリットがある。

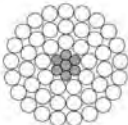
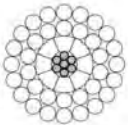
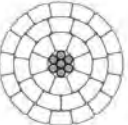
一方、小サイズ低ロス電線の多導体化においては、電線表面電位の傾きが 14.64kV/cm の制約から外径 25mm 以上の条件を考慮すると、小サイズ電線による低ロス化は望み薄となる。

たとえば、従来電線の Bluejay 2 導体に対応した Garnet や Zebra 3 導体が検討対象になるのみで、Bluejay 4 導体に対応した小サイズ電線は 6、8 導体となり対象外である。

ただし、大容量の送電が必要となる場合は、検討対象となりうる可能性は否定できない。

従来仕様の Zebra や Bluejay 電線に対する重量等価な低ロス電線の設計については、別途プロジェクトにおいて表 7-6 に示す設計例がある。

表 7-6 低ロス電線の設計例

Description		Unit	ACSR "Rail"	LL-ACSR/AS 510mm ²	LL-ACSR/AS 610mm ²
Construction		Nos/mm	45/3.7 - AL 7/2.47 - St	34/3.875 - AL 8/TW*1 - AL 7/2.1 - 14EAS*2	16/TW*1 - AL 11/TW*1 - AL 8/TW*1 - AL 7/2.1 - 14EAS*2
Nominal Diameter		mm	29.61	29.59	29.59
Min. breaking load		kN	116.1	116.1	126.5
Cross sectional area	AL	mm ²	483.8	514.4	610.7
	Core		33.54	24.25	24.25
	Total		517.3	538.7	635.0
Nominal weight		Kg/km	1600	1600	1867
DC Resistance at 20 deg. C		Ohm/km	0.0597 [100]	0.0558 [93]	0.0471 [79]
Modulus of electricity		GPa	71.1	66.7	65.9
Co-efficient of linear expansion		/°C	20.9 x 10 ⁻⁶	21.7 x 10 ⁻⁶	21.9 x 10 ⁻⁶
Current capacity (AC Resistance)	at 956A	A (Ω/km)	956A (0.0800) at 90°C	956A (0.0743) at 87.3°C	956A (0.0617) at 81.3°C
	Maximum			988A (0.0749) at 90°C	1073A (0.0635) at 90°C
Sag at 350m	at 956A	m	12.15m at 90°C -	12.10m at 87.7°C	11.78m at 82.5°C
	Maximum			12.20m at 90°C	12.11m at 90°C
Cross sectional view		-			

Notes:

*1: TW: Trapezoid wire

*2: AS: Aluminum clad steel wire

-Calculation condition-

For Sag-Tension	For Current Capacity
(1) Maximum working tension: Not exceed 40% RTS Wind velocity: 40 m/s at 25°C (2) Everyday tension: Not exceed 23% RTS Wind velocity: still air at 30°C Critical condition is (1) or (2) sever Span length: 350m	+ Ambient temperature: 40°C + Wind velocity: 0.5m/s + Wind direction: Right angle + Solar radiation: 0.1W/cm ² + Absorptivity of conductor surface: 0.6 Calculation method: In accordance with JCS 0374

出典：電線メーカー技術資料

表 7-6 に示す Bluejay 電線と重量等価な低ロス電線 (LL-610sq) の設計例仕様より、外径・交流抵抗値等を求めて送電ロス(P_l)を式(10)~(16)により計算した。

$$P_l = 3 \cdot \left(\frac{I}{n}\right)^2 \cdot R_{AC} \cdot n \times 10^{-6} \cdot L$$

$$= 3 \cdot I^2 \cdot \frac{R_{AC}}{n} \cdot L \quad [MW] \dots\dots\dots(10)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \theta} \times 10^3 \quad [A] \dots\dots\dots(11)$$

$$R_{AC} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot R_{DC} \cdot \{1 + \alpha(T - 20)\} \quad [\Omega/km] \dots \dots \dots (12)$$

- ここで、
- Pl : 送電ロス (MW)
 - P : 送電容量 (MW)
 - I : 負荷相電流 (A)
 - L : 送電線互長 (km)
 - V : 送電電圧 (公称電圧) (kV)
 - R_{AC} : 交流電線抵抗 (Ω/km)
 - n : 導体数 (本)
 - R_{DC} : 直流電線抵抗 (at20°C) (Ω/km)
 - β₁ : 表皮効果係数
 - β₂ : 鉄損係数
 - α : 電線抵抗温度計数 (1/°C)
 - T : 電線使用温度 (°C)

表皮効果

$$\beta_1 = 0.99609 + 0.018578x - 0.030263x^2 + 0.020735x^3 \dots \dots \dots (13)$$

$$x = 0.01 \frac{D_1 + 2D_2}{D_1 + D_2} \sqrt{\frac{8 \times \pi \times f \times (D_1 - D_2)}{(D_1 + D_2) \times R_{DC}}} \dots \dots \dots (14)$$

- D₁ : 導体外径 (mm)
- D₂ : 鋼心外径 (mm)
- f : 周波数 (Hz)

鉄損 (アルミ層が偶数層)

$$\beta_2 = 1$$

鉄損 (アルミ層が奇数層)

$$\beta_2 = 0.99947 + 0.028895x - 0.0059348x^2 + 0.00042259x^3 \dots \dots \dots (15)$$

$$x = \frac{I}{A_{AL}} \dots \dots \dots (16)$$

- I : 相負荷電流 (A)
- A^{AL} : 導体断面積 (mm²)

注) β₂に電流が入るため、繰り返し計算が必要となる。

計算結果を、表 7-7 に示す。

表 7-7 低ロス電線の送電ロス比較表(300km の場合)

電線名		LL610	LL610	LL610	Bluejay	Bluejay	Bluejay
外径	mm	29.59	29.59	29.59	31.98	31.98	31.98
単位重量	kg/m	1.867	1.867	1.867	1.866	1.866	1.866
Al 断面積	mm ²	610.7	610.7	610.7	565.49	565.49	565.49
St 断面積	mm ²	24.25	24.25	24.25	38.9	38.9	38.9
総断面積	mm ²	634.95	634.95	634.95	604.39	604.39	604.39
線膨張係数	*/°C						
弾性率	kg/mm ²						
抗張力	kN	126.5	126.5	126.5	127.66	127.66	127.66
DC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.0471	0.0471	0.0471	0.0511	0.0511	0.0511
電線許容電流カタログ値	A	1207	1207	1207	745	745	745
AC 係数							
AC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.053411	0.053411	0.053411	0.057947	0.057947	0.057947
電線許容電流	A						
導体数		4	3	2	4	3	2
素導体間隔	m	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
AB 相間隔	m	13	13	13	13	13	13
BC 相間隔	m	13	13	13	13	13	13
CA 相間隔	m	26	26	26	26	26	26
GMD	m	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897	16.37897
GMR	m	0.270531	0.167915	0.076929	0.275836	0.172319	0.079975
インダクタンス値	mH/km	0.833143	0.932692	1.097136	0.829259	0.927514	1.089369
リアクタンス	Ω/km	0.261739	0.293014	0.344675	0.260519	0.291387	0.342235
限界送電距離	km	1054.765	942.186	800.9672	1059.705	947.446	806.678
電圧降下	kV	8.879735	9.222777	9.789437	9.376653	9.715233	10.27297
表面電位の傾き	kV/cm	11.00291	12.81581	15.63619	10.34109	12.03484	14.65429
送電ロス	MW	1.248435	1.66458	2.496871	1.354459	1.805946	2.708919

出典：JICA 調査団

表 7-7 より、Bluejay 電線と低ロス電線の導体数比較を検討可能なケースは、従来電線の各導体数に対して送電ロスが低減している低ロス電線の各導体数が比較対象となり、以下の 3 通りが選定された。

- (1) 4 導体同士
- (2) 2 導体同士
- (3) Bluejay 2 導体と、低ロス 3 導体

ただし、送電線距離が 500km の場合では、表 7-8 に示す低ロス電線の 500km 送電線の場合の送電ロスを考慮すると、4 導体同士のみの比較となる。

表 7-8 低ロス電線の送電ロス比較表 (500km の場合)

電線名		LL610	Bluejay
外 径	mm	29.59	31.98
単位重量	kg/m	1.867	1.866
Al 断面積	mm ²	610.7	565.49
St 断面積	mm ²	24.25	38.9
総断面積	mm ²	634.95	604.39
線膨張係数	*/°C		
弾性率	kg/mm ²		
抗張力	kN	126.5	127.66
DC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.0471	0.0511
電線許容電流カタログ値	A	1207	745
AC 係数			
AC 抵抗	Ω/km (20°C)	0.053411	0.057947
電線許容電流	A		
導体数		4	4
素導体間隔	m	0.4	0.4
AB 相間隔	m	13	13
BC 相間隔	m	13	13
CA 相間隔	m	26	26
GMD	m	16.37897	16.37897
GMR	m	0.270531	0.275836
インダクタンス値	mH/km	0.833143	0.829259
リアクタンス	Ω/km	0.261739	0.260519
限界送電距離	Km	527.3824	529.8523
電圧降下	kV	29.59912	31.25551
表面電位の傾き	kV/cm	11.00291	10.34109
送電ロス	MW	4.161451	4.514865

出典：JICA 調査団

以上を考慮して、従来電線と低ロス電線の比較を行う検討ケースを、表 7-9 に示す。

表 7-9 低ロス電線比較対象ケース一覧表

		低ロス電線					
		送電線距離 300km			送電線距離 500km		
		2 導体	3 導体	4 導体	2 導体	3 導体	4 導体
Bluejay 電線	2 導体	○	○	---	---	---	---
	4 導体	---	---	○	---	---	○
検討ケース		比較①			比較②		

出典：JICA 調査団

7.4 ライフサイクルコスト比較

(1) 送電ロス費の計算

送電容量の年度推移を基に、標準電線と低ロス電線の送電ロスを式(17)～(18)によりコスト計算し、50年間のライフサイクルコストとして比較する。

$$\text{損失電力量 } Q_y \left[\frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right] = P \times (0.3f + 0.7f^2) \times 8760 \dots \dots \dots (17)$$

$$\text{送電ロス費} = \sum_y^n \left[\frac{C_1 \cdot Q_y}{(1+i)^y} \right] \dots \dots \dots (18)$$

- ここで、 P : 送電容量 (MW)
 C1 : 発電単価 (Yen/kWh)
 f : 負荷率 (%)
 i : 金利上昇率 (%)
 y : 推移年度数 (年)

損失電力量算出式については、Buller-Woodrow の提唱式（参考文献-1）を用いた。
 送電ロス費は、推移年度の費用を現在時点の費用に換算する式を用いた。

参考文献-1 : F. H. Buller and C. A. Woodrow, "Load factor equivalent hours values compared -----", Electrical World, Jul. 1928"

(2) 電線単価ならびに資材費の検討

前項の各電線の概算単価をアルミ断面積比率により換算した結果を表 7-10 に示す。

表 7-10 各種電線の単価(タンザニア国 SHIPPING 含む)

電線種類	FOB 単価 (Yen/km)		CIF 単価 (Yen/km)		備考
	JPY	Foreign	JPY	Foreign	
Bluejay	810	490	910	550	アルミ材単価 1,750\$/Mt アルミ断面積 比率を適用
LL-610	770	770	870	870	
LL-510	700	700	800	800	
Zebra	620	370	720	430	
Garnet	490	295	580	350	
Hawk	350	210	440	265	

出典：JICA 調査団

電線単価は、アルミ材の単価に大きく左右されることから、近年のアルミ材の単価推移を

IMF のホームページより調査した。参考資料 5 に近年のアルミ材の単価推移を示す。

参考資料 5 より、アルミ材の単価は 2016 年 3/4 期以降、1,750\$/Mt の価格で大きな変動もなく推移していることが確認できた。

比較対象の電線と導体数毎に、送電線亘長 300km と 500km に対する資材費を計算した結果を表 7-11 に示す。

表 7-11 各電線の資材費

(単位：百万円)

電線種類	導体数	比較① (300km)	比較② (500km)	備考
Bluejay	2	1,852	----	
	4	3,704	6,174	
LL-610	2	2,911	----	
	3	4,366	----	
	4	5,821	9,702	

出典：JICA 調査団

なお、資材費は、送電線亘長の 1.05 倍を電線実長として計算した。

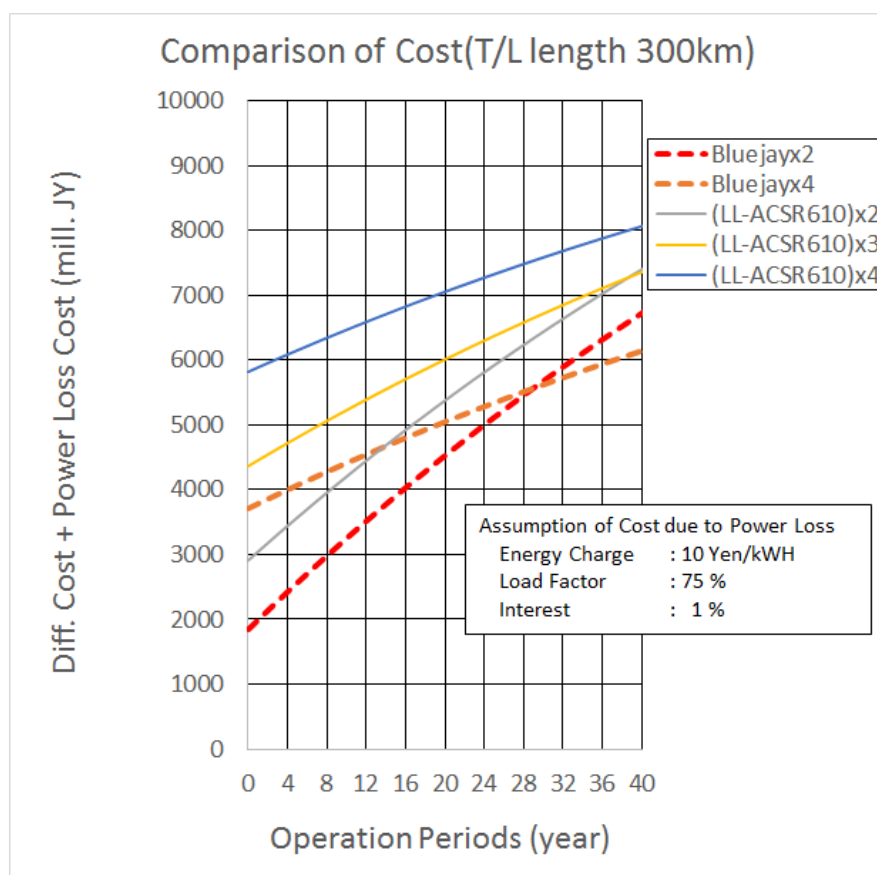
計算に使用する各種変数については、RSW International Inc.による 2012 年 6 月付の Final Full Feasibility Report -R05 (Volume I - Report) 「Kenya-Tanzania Power Interconnection Project FS,DD and Preparation of Tender Documents」において表 7-12 に示す計算例を参考としながら、下記の値を採用した。

電力料金 : 10 円/kWh
 負荷率 : 75%
 金利上昇率 : 1%
 推移年度数 : 50 年

表 7-12 送電ロス計算事例の各種パラメータ 一覧表

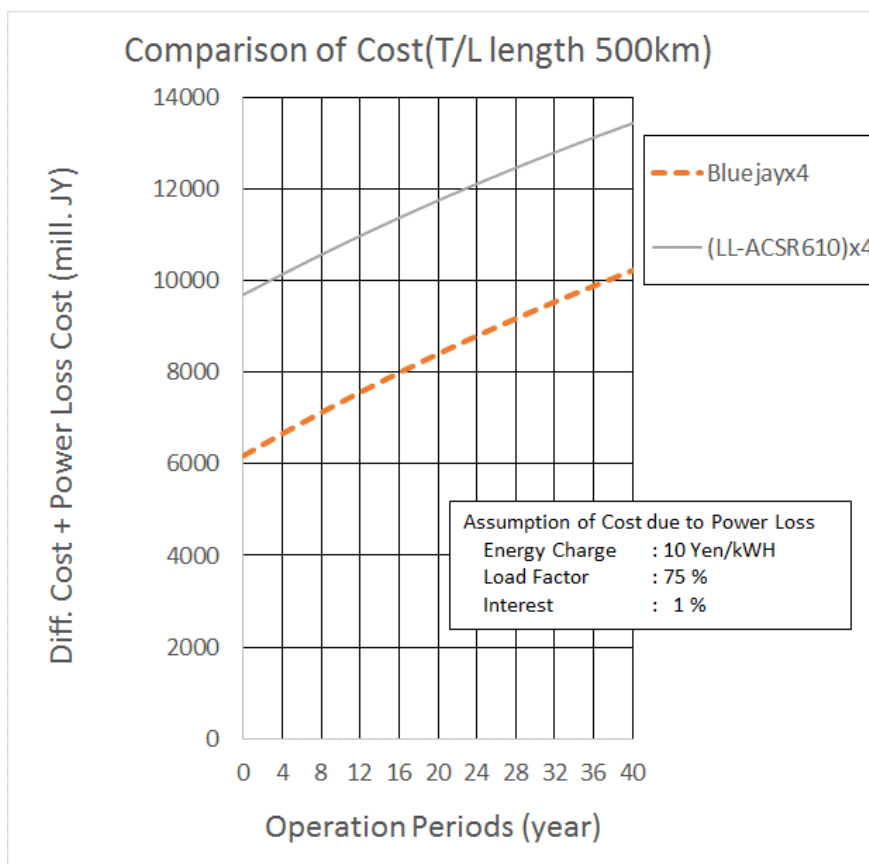
7.2.2 Value of Losses	
The power transfer of the interconnection was considered during optimizing studies to evaluated losses for each line configuration. The cost of losses was evaluated based on assumptions given below:	
Projected life of line :	23 years
Initial operating voltage :	400 kV
Final operating voltage :	400 kV
Power factor :	0.95
Load factor :	0.75
Discount rated :	10 %
Inflation rate :	0 %
Present cost of energy (US\$/kWh) :	0.094
Fixed charge rate on generating capacity :	10 %
Cost of installed generating capacity (US\$/kW) :	218
Fixed charge rate of conductor :	10%

表 7-11 に示す各電線資材費を初期コストとして、送電ロス費の年度推移を計算した結果を図 7-8～図 7-9 に示す。



出典：JICA 調査団

図 7-8 Bluejay 電線と低ロス 610 電線とのコスト比較(300km)



出典：JICA 調査団

図 7-9 Bluejay 電線と低ロス 610 電線とのコスト比較 (500km)

7.5 最適低ロス電線の選定

- (1) 図 7-8、図 7-9 に示されたライフサイクルコスト比較より、最短の年数で電線コストアップをリカバーできる低ロス電線は存在しないことが判明した。
- (2) この理由として、400kV 送電線の優位性があり、同じ電力を送電する場合は、高電圧小電流として、送電ロスの軽減を図ることが可能となる。
- (3) また、初期コストの差（従来電線と低ロス電線の単価差）が大きいことである。このため、送電ロス分の電力料金による補填を長期間必要とするからである。

7.6 低ロス電線のPQ条件の検討

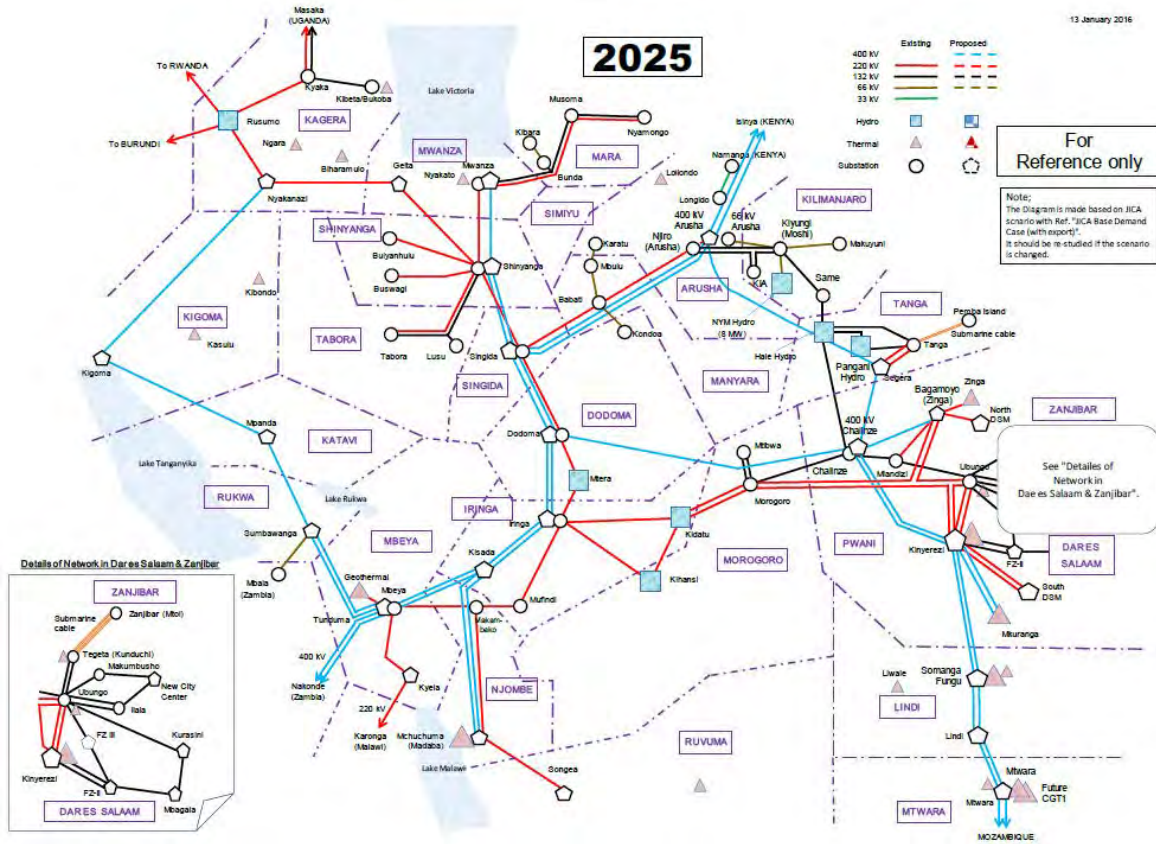
(1) 製造規模

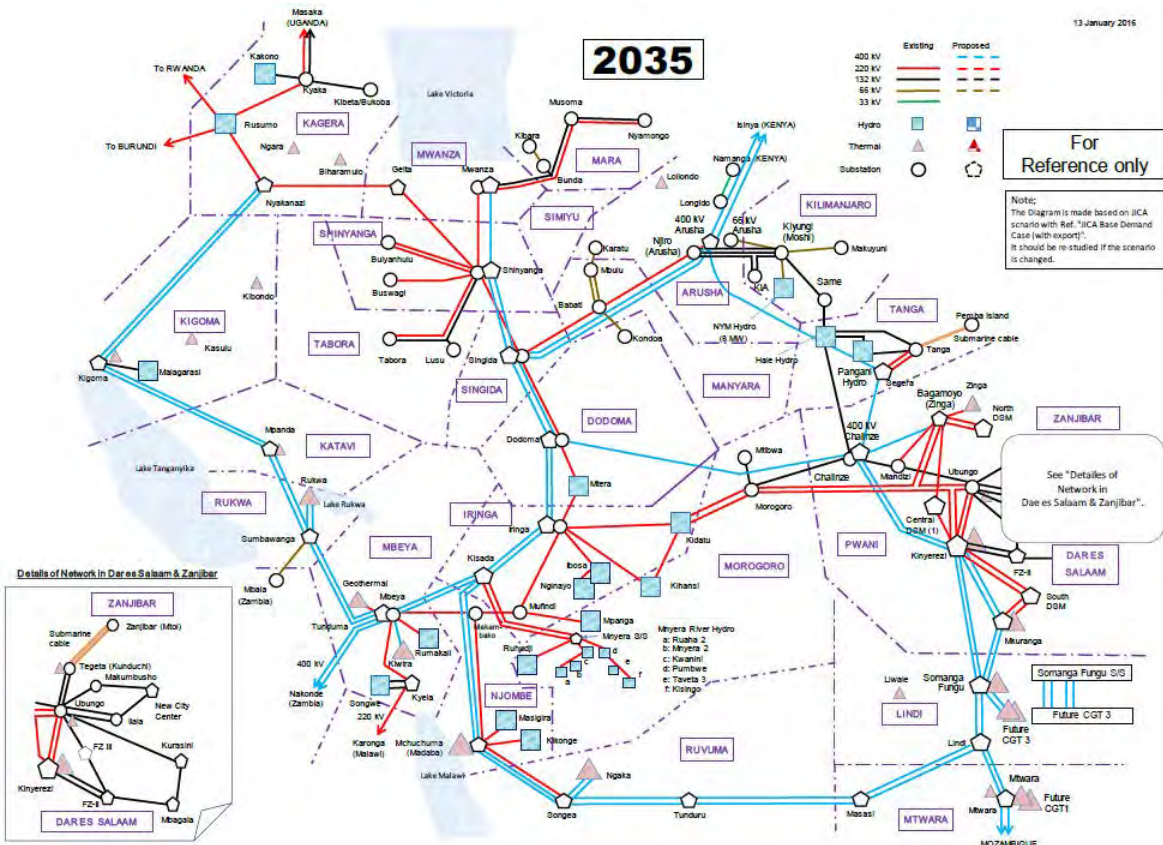
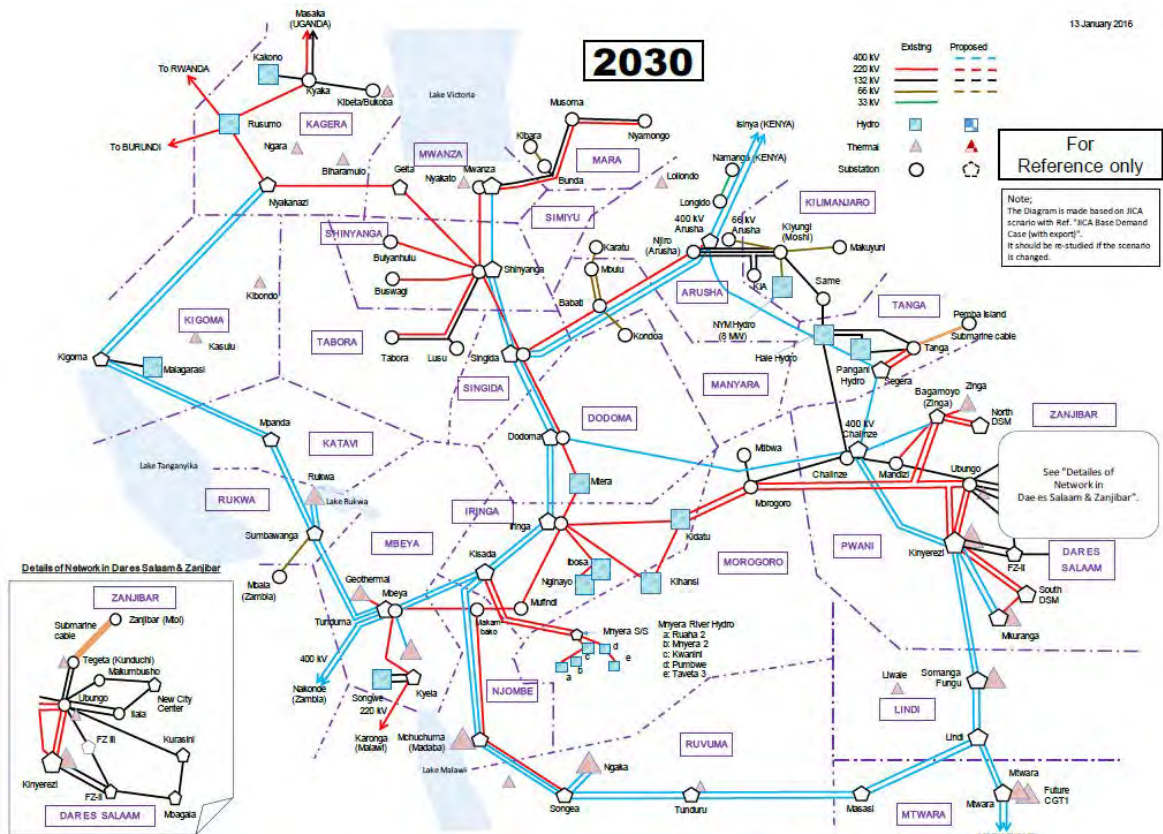
- a. 製造能力 : 1,000t/月 以上
- b. 受注量 : 100km/月 以上

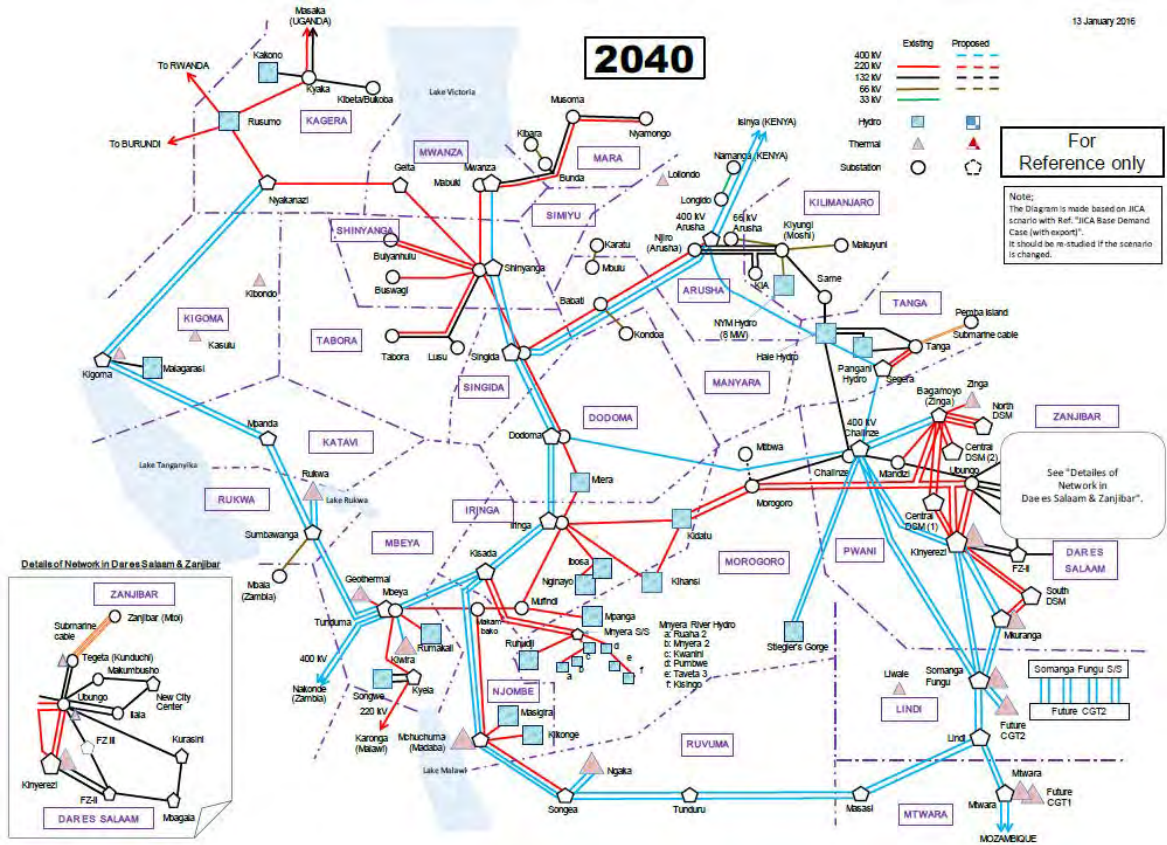
(2) 技術力

- a. 納入実績 : 2,000km 以上、ユーザーからの納入証明提示のこと
- b. 製造経験年数 : 30 年以上
- c. 鋼芯強度 : 1,960MPa/mm²以上の亜鉛メッキ鋼線、または、
1,770MPa/mm²以上のアルミ覆鋼線としての強度を有すること。

参考資料 1







参考資料 2

400kV 送電線導入のシナリオ

TANESCO is planning the addition of a new 400 kV switchgear at its existing Singida 220/33 kV substation. The existing substation is located in the town of Singida at an altitude of 1511 m.

- Arusha to Singida as well as backbone plan by TANESCO shall be operated at 220 kV from commissioning;
- Operating voltage of Singida to Arusha and Singida to Shinyanga shall be switched to 400 kV in 2020;
- Remaining of backbone (Singida to Iringa), shall be switched to 400 kV in 2025.

The Kenyan and Tanzanian systems were seen to perform satisfactorily under normal conditions. No branch overloads were detected and voltages remained within the prescribed limits. The un-switchable line reactors are as follows:

- 18.15 MVar at each end of 400 kV Singida-Babati-Arusha transmission line when operated at 220 kV;
- 18.15 MVar at Singida line end of 400 kV Singida-Shinyanga transmission line when operated at 220 kV;
- 22.69 MVar at Dodoma line end of 400 kV Singida-Dodoma transmission line when operated at 220 kV;
- 40 MVar at each end of 400 kV Arusha-Isinya transmission line.

There is also additional need for switched bus shunt reactors at the following substations:

- 75 MVar at 220 kV Singida substation including existing shunt reactors;
- 75 MVar at 220 kV Shinyanga substation;
- 75 MVar at 220 kV Dodoma substation.

- The Singida-Isinya 220kV/400kV system for year 2015

For year 2015, 400 kV double circuit transmission line from Singida to Arusha is operated at 220 kV and 400 kV transmission line from Arusha to Isinya is operated at its design voltage. The existing Singida-Babati-Arusha 220 kV transmission line is connected in parallel with the new 400 kV Singida-Arusha transmission line. A 400/220/33 kV autotransformer with 500 MVA capacity is modelled at Arusha substation. This in fact consists of two 250 MVA autotransformers operated in parallel. Refers to Figure EMTP- 1 below for details;

- The Singida-Isinya 400kV system for year 2020

For year 2020, the 400 kV double circuit transmission line from Singida to Arusha is operated at 400 kV and a 400/220/33 kV autotransformer with 200 MVA capacity is added to the model at Singida substation. This in fact consists of two 100 MVA autotransformers operated in parallel. Refers to Figure EMTP-2 below for details;

- The Singida-Isinya 400kV system 2035

For year 2035, a new 400/220/33 kV autotransformer with 200 MVA capacity is added to the model at Babati substation. This in fact consists of two 100 MVA autotransformers operated in parallel. Refers to Figure EMTP-3 below for details;

The system that was modeled for year 2035 includes the addition of a 400/220 kV substation at Babati. It is not clear at the present time, when this substation will be required but its effect on the SPAR performance and on the shunt and neutral reactors sizing must be analysed.

(参照) RSW International Inc.による2012年6月付のFinal Full Feasibility Report -R05 (Volume I - Report)「Kenya-Tanzania Power Interconnection Project FS,DD and Preparation of Tender Documents」

コロナ騒音レベルと電線表面電位の傾き制限について

コロナ騒音レベルが、50dB(A)を越えると図 1 に示すように問題になることがある。50dB(A)以上の騒音が発生するのは、図 2 に示すように電線表面の電位の傾き（昔は、電線表面電位傾度と称す）が、約 15.5kV/cm 以上である。

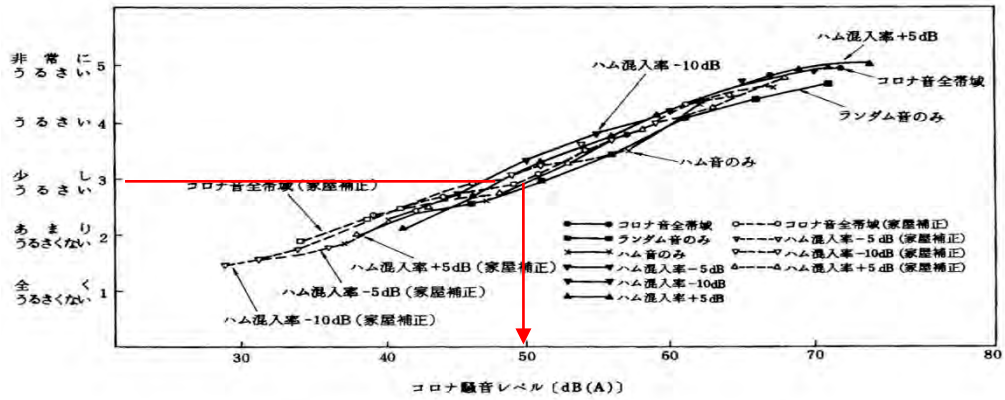


図 1 コロナ騒音レベルとうるささ

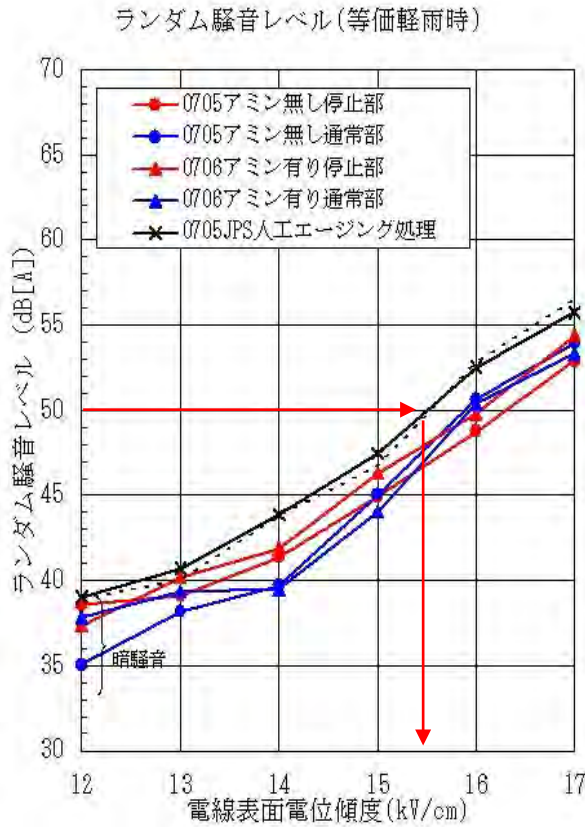
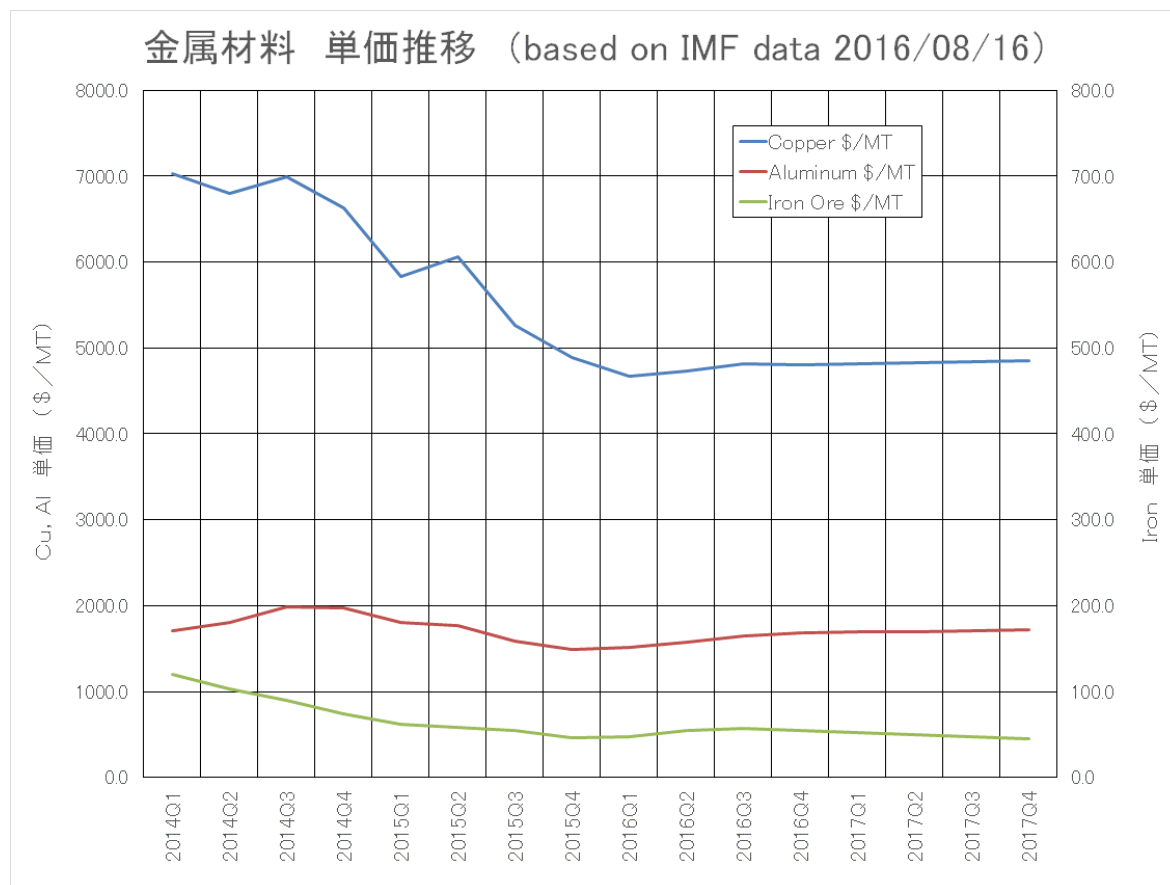


図 2 電線表面の電位の傾きとランダム音騒音レベル

近年のアルミ材の単価推移



第8章 ガス火力開発に係る今後の支援策及び円借款事業の可能性検討

8.1 電力設備の拡充

タンザニア国にはこれまで火力発電所としてガスエンジンやガスタービンのシンプルサイクルの発電所のみであり、容量としては数万kWの単機容量の小型ユニットである。しかしながら今後、投資効率をあげて電力インフラを整えていくには、大規模な発電所を計画的に建設していく必要がある。現状では、民営化後の TANESCO の経営は厳しく、独力で発電所建設の予算が確保できない状況である。

よって、タンザニア国政府は外部の資金を活用して発電所を建設しようとしている。すなわち、先進国政府による資金援助の活用と民間資金の活用である。2015年11月に就任したマグフリ新大統領の政府公約である『2020年までに4,915MWの発電設備容量達成』という意欲的な目標に鑑みれば、公的資金も民間資金も総動員して設備増強に取り組みむ必要があるが、民間企業はタンザニア国においては巨額の資金を必要としないリスクの低い案件を志向すると想定される。

そこで、民間が参入しにくい巨額の資金が必要な発電プロジェクトにこそ、我が国の円借款を用いた発電所開発支援の意義があるといえよう。特に発電所の大規模化を目指すにはガス火力をコンバインド化する必要があり、さらに送電線建設を含めることができれば、タンザニア国の電力設備整備の基盤をなす有効な発電所建設プロジェクトとなりうる。

8.2 運転保守経験

我が国ではボイラ及び蒸気タービンを用いたいわゆるコンベンショナル発電技術の導入から始まり、約20年ほど前からコンバインドサイクル発電が始まった。従って、コンベンショナル発電を経験することで培ったボイラ水の処理技術がコンバインドサイクルの運転にも活かされている。

一方、タンザニア国では現時点ではガスエンジンやガスタービンシンプルサイクルの発電所のみであり、蒸気タービン・ボイラの運用及び水処理の経験がない。よって、現在建設中の Kinyerezi II で初めてコンバインドサイクルが導入されるが、運転開始当初のトレーニングのみでは、コンバインド発電設備の運転方法を一通り習得するだけであり、実際に TANESCO が独力で運用を始めると、蒸気タービン・排熱回収ボイラの運用や水処理の問題で外部からの支援が必要になってくるであろうと容易に想像される。

JICA 調査団の既存発電所へのヒアリングによれば、Kinyerezi I は長期メンテナンス契約の提案をメーカーより受けているとのことであったが、Ubungo II のユニット 1 が圧縮機翼の損傷により長期に停止しており、また、Somanga・Fungu の TANESCO 発電所もガスエンジンが故障したまま長らく放置されているなど、予算不足のためメーカーと O&M 契約を結んで十分なサポートを受けている状況ではなく、かつ TANESCO 自身にも発電設備の保守技術をもった人材が不足している。このような状況であるため、蒸気タービン・ボイラの運転保守経験を経ずに GTCC を所有することになる TANESCO において運転保守の面で懸念が残る。

よって、オールジャパン体制で獲得した Kinyerezi II 案件を成功させ、タンザニア国に GTCC 発電を根付かせるためにも、GTCC 運転技術に関する支援を円借款で行うことも一案であろうと考えられる。具体的には、Kinyerezi II を対象に「技術協力プロジェクト」を立ち上げ、現地で OJT やクラスルーム講習を行うとともに、TANESCO のエンジニアを日本に招聘して技術指導を行うことが考えられる。

8.3 ソマンガからムトワラへの送電線の必要性

ムトワラに建設される 300MW の火力発電所の電力は、ダルエスサラームに大きな需要があるためソマンガ・フングを通過してキネレジに送電される。送電線に関して 400kV の送電線が 2020 年までに建設されるとマスタープラン（2016）で報告されている。

第9章 日系企業がアフリカ地域のガス火力開発に参入する際の課題と解決策

9.1 日系企業の関心度

JICA 調査団は日本メーカー各社にアフリカ案件への関心度をヒアリングした。その結果、日本企業のアフリカへの関心度はかなり高いことが分かった。アフリカは今後の成長市場の一つであり、高い電力需要の伸びが見込まれる。よって、現時点では欧米企業に先行されているが、受注を増やすためにも積極的に進出したいという意向を持っている。既に南アフリカで進行中の案件を持つメーカーは南アフリカに現地法人を設立済であった。

また、リスクが高い EPC 受注より機器納入を志向するかという質問も行ったが、日本企業は特段 EPC を避けているわけではなく、受注金額が大きくなる EPC は魅力であり、また技術伝承の観点からも EPC は継続的に取っていく方向であるとの回答を得た。アフリカに限らず海外での EPC は海外子会社を活用している企業もある（関連する日本企業への聞き取り調査の結果を文末の「参考資料」に示す）。

9.2 アフリカ地域進出のための課題と対応策

地理的に言えば、アフリカは昔からヨーロッパの裏庭と言われ、あらゆる経済活動に影響力を有しており、JICA 調査団がタンザニア国の既存発電所を調査した範囲でも欧米勢の機種が多く見られた。現在、Kinyerezi II で H-25 が導入されているところであるが、日本企業による受注をさらに増やし、サービスを含めた日本製品の品質を理解してもらい、欧米勢に先行されているアフリカ市場を攻略する必要がある。

アフリカ市場を攻略する上での課題は、

- (1) 中小規模のガスタービンで性能が欧米勢（GE, SIEMENS）より劣る
- (2) 価格競争が厳しい
- (3) 地理的に日本から遠い
- (4) 現地の強力なパートナー不足
- (5) アフリカ諸国の信用力を補うファイナンス

といった課題がある。これらの課題に対し、対応策は以下のとおりと考える。

- (1) 東アフリカでは系統規模が小さいために中小規模のガスタービンがコンバインドプラントを構成する上での候補になってくる。この中小規模ガスタービンに関しては、メーカーの努力もあり欧米勢に伍するガスタービンが出てきている。例えば、SIEMENS の SCC-

800 のコンバインドサイクルは ISO ベースでの効率が 56.2%であるのに対して、MHPS の H-100 (110)を用いたコンバインドは 55.9%、IHI の LM6000PF+を用いたコンバインドは 55.3%であり、遜色ない効率となっている。本数値は Gas Turbine World Handbook からの引用値であるため、実際に入札する場合にはチューニングをすることで効率アップを図り、欧米勢に引けをとらない高効率とすることが肝要である。

- (2) 価格競争力を出して入札で勝つためにはガスタービンを含む主要機器の価格を抑え、そのうえで EPC 工事の費用を抑えることが必要である。設計段階でコストダウン策を盛り込むことや土木・据付で競争力のある韓国、インド企業等を採用するなどの案が考えられる。また、出力についても 300MW に近い出力が出せる GTCC プラントのほうが kW あたりの建設費単価の比較で有利なため、できるだけ所与の上限の出力になるように設備のチューンナップを行うことが肝要である。
- (3) 日本からアフリカは距離的に遠く、どうしても欧州勢に比べハンディがあると言わざるを得ない。そこでこのハンディをカバーするためにもメーカーがアフリカにサービス拠点を持つことが対応策として考えられる。その拠点から技術員を派遣するのみならず拠点でスペアパーツを保有し、迅速なトラブル対応ができるようにすればアフターサービスの面でも十分にアフリカの顧客にアピールできる。JICA 調査団がヒアリングした範囲でも、南アフリカに現地法人を持つメーカーもあり、別のメーカーもガスタービン納入実績が 6 基程度まで増えれば拠点設置を検討したいとのことであった。また、本調査で明らかになったことであるが、日本メーカーの遠隔監視技術は欧米勢に比して勝るとも劣るものではなく、アフリカのような O&M のスキルがまだ未熟な地域では、日本メーカーが日本から設備状況を監視し必要に応じてアドバイスをを行うというスキームが魅力的に映る可能性がある。
- (4) 上記の(3)とも関連するが、アフリカは距離的に遠いため、日本勢は東南アジアほど多くの発電プロジェクトを手がけていない。よって、現地のコントラクターと連携する機会が少ないため、必ずしもベストな現地コントラクターとチームを組成できているとは限らないと思われる。よって、現地企業との提携や欧米企業とのコンソーシアム組成などを通じて経験を積み、アフリカ各国で実力のある現地企業を見つけることが望ましい。
- (5) 発展途上にあるアフリカ諸国に日本企業は興味を持っており、政治的に安定している東アフリカは有望地域として捉えられている。しかしながら、顧客の信用力の問題があるため、日本メーカーのアフリカ進出を後押しするためには政府開発援助（円借款）が望ましい。また、IPP として日本企業が進出する場合には、JBIC や日本貿易保険（NEXI）による支援を行うことが望ましい。

9.3 送電線事業がアフリカ地域進出のための課題と対応策

低ロス電線によるアフリカ地域進出について、国内電線メーカーとの意見交換の結果を以下に示す。

- a. 400kV 系統ではなくて、220kV 系統送電線への適用が望ましい。
電線電流が単純に2倍となり、送電ロスは4倍となることから、電力ロス換算料金が増えて採算ベースに乗る場合が出てくる可能性が多くなる。
対応策としては、220kV プロジェクトの早期情報収集と短時間での採算比較検討評価手法の確立が望まれる。
- b. 従来電線との価格差が大きい。
対応策としては、低ロス電線のコストダウンが望まれる。

参考資料: 日本企業の関心度(平成 28 年 7~8 月調査)

1. IHI

- ・モザンビークの Maputo 発電所で航空機転用型 GT (LM6000PF) の GTCC (110MW) を建設中 (2018 年 8 月運開予定) であり、本タンザニアプロジェクトも受注したいと考えている。
- ・IHI は GE より LM6000PF を調達し、呉工場で周辺機器を取り付けて GT パッケージに纏めている。なお、IHI は GT の一部 (コンプレッサーの一部) 製造を GE より受注し、GE に納入している。
- ・IHI 納入の LM6000PF 用制御システムは IHI 独自開発の CSI-III+ で、GE の Mark IV とは別のもの。GE の正式な認証を得たもので信頼性は担保されている。CSI-III+ は、DCS 機能も有しており、発電プラント全体を監視できる。
- ・「IHI の GT が国産とみなせるか？」については、GT は単体では機能せず、プラント全体のパッケージングと制御の組合せが必要であり、過去にロシア向けの案件で JBIC より、IHI 独自の製品及び国産機との認定を受けた。ただしプロジェクトは成立しなかった。
- ・GE は IoT の売込みを図っているが、同技術については IHI の方が先行していると自負している。
- ・日本政府の ODA 案件については、IHI が優先的に GT を供給するという棲み分けが GE との間でできている。

2. MHPS

- ・アフリカ市場での火力発電建設については、MHPS は合併前の日立、MHI を通じて日本企業のトップである。
- ・現在、タンザニア国には政治的リスクはなく、JICA が円借をつけるのであればファイナンスのリスクもなく、いい案件だと思う。
- ・FOB より EPC の方が受注金額は増えるが、人手もかかる。全ての案件を EPC でやることはマンパワーの制約でできない。本案件を FOB にするか EPC にするかは、その時の状況による。
- ・南アフリカに「MHPS アフリカ」を設立している。インドのような生産工場はないが、現在 Medupi & Kusite 石炭火力発電所 (800MW ×12) の超臨界圧ボイラ建設のためエンジニアリングやプロジェクトの施工管理を 600 人 (うち 100 人が日本人) 体制で行っている。また、U.A.E (アブダビ) に GT のサービス拠点を有している。

第10章 結論と提言

10.1 既設ガス火力発電所

タンザニア国における既存ガス火力発電所は、小型のガスエンジン、ガスタービンをを用いたシンプルサイクルの発電所である。これらの発電所の運用状況を日本の電力会社の運用と比較した結果、日々の巡回点検やメーカー推奨に従ったメンテナンス計画は立てられているものの、設備の異常や効率低下を早期に発見するための性能管理はなされていないことが判明した。

現状のシンプルサイクルでの性能管理はコンバインドプラントに比べて容易であり、設備の能力を十分に発揮させるためにも既存ガス火力発電所において性能管理の仕組みを構築することを提言する。性能管理の仕組みが構築できれば、タンザニア国が今後導入されるコンバインドサイクルにも展開していく事ができる。

また、聞き取り調査を通じて、発電所員のトレーニングが不足していることも判明した。発電所の引渡し時のトレーニングのみで所員が継続的、計画的にスキルを上げるプログラムがない。これも将来、水質管理が必要になってくるコンバインドサイクルが導入された際に懸念となる。

以上のことから、今後のタンザニア国におけるガス火力の展開を支援するならば、政府開発援助の仕組みを用いてコンバインドサイクルの経験のある人材を派遣し、性能管理や運転保守の技術移転を行う事が望ましい。

また、設備が故障した場合に、長期に亘って修繕されていないケースが複数あることが分かった。これは電源開発用に予算が回され、修繕に十分な予算が当てられていないことが背景にあると考えられる。発電所は建てさえすれば、安定的に電力を供給できるものではない。必要な修繕予算を毎年確保し、メーカーと連携して適切な修繕を行っていく事ではじめて設備の性能を十二分に発揮できる。タンザニア国政府はこのように考え方を変えていく必要がある。

10.2 ガス火力発電所計画

今回のムトワラ・リンディ地域での300MWクラスGTCC発電所の候補地点をサイト踏査した結果、ムトワラ地域で1ヶ所の発電所建設に最適な地点を選定した。

最適地点は、小さな半島の先端に位置し、深海に囲まれていることより、蒸気タービン冷却にプラント効率が高い海水冷却を採用でき、かつ海水冷却用の取水路を重量物陸揚げ用の栈橋として利用できる可能性がある。このため重量物の陸送の必要なくなり、アクセス道路の拡張／舗装及びそれに伴う住民移転の問題を解消できる。最近では重量物を荷役できるクレーン設備を有す貨物船での輸送が一般的となっており、栈橋に荷揚げ設備を設置する必要はないと考えられる。

また、最適地点は、海拔 4～5m の平地で発電所の造成にあたっては大規模な土木工事は不要と判断される。さらに、タンザニア国東海岸は水不足の地域であるが、ムトワラには Ruvuma 河を水源とする大規模な給水プロジェクトが進行中であり、新規ガス火力発電所への原水供給も可能と思われる。ガス配管は敷設済みであり、必要十分なガス供給も見込めるため、新規ガス火力発電所の建設は実現可能であると判断された。

ムトワラ・リンディ地域には地元産業も育ちつつあり、かつ隣国モザンビークとの経済回路の計画もあり、将来的には 300MW の発電電力を地元で消費することも期待できる。

ただ、ムトワラ地域には TANESCO が米国 Symbion との PPP のため、GTCC プラント建設のために広大な土地取得を計画している。それらの新規案件に先駆けて本プロジェクトが地元で電力を供給することが重要と考えられる。

本プロジェクトは Pre-F/S の位置づけであり、今後早急に F/S に入ることが求められる。F/S での主要調査項目は下記のとおり。

- 1) 新規ガス火力発電所に対する電力需要予測
- 2) サイトの気象観測
- 3) ボーリングを含む地質、地形調査
- 4) サイト前方の海の水深、海流の速度、方向、水温等の調査及びそれらのデータに基づく温排水拡散のシミュレーション
- 5) TANESCO が同サイトの拡張（GTCC 複合ガス火力発電所の建設）を望む場合は、拡張可能かの現地調査及びそれに備えた共通取水路、放水路の検討
- 6) 燃料供給計画
- 7) 原水供給計画
- 8) 発電所設備の詳細仕様計画
- 9) 建設工程
- 10) 建設コスト
- 11) 経済・財務分析
- 12) 環境影響調査

10.3 低ロス送電線

ムトワラ地域での 300MW クラス GTCC 発電所の南部電力を、ソマンガ・フング～キネレジ地域の北部需要地に供給する亘長 300km の 400kV・Bluejay 2-4 導体送電線が最適であるとの提案がなされている。

上述の送電線に対して、従来電線（Bluejay 2-4 導体）と重量等価な低ロス電線（LL-610sq・2, 3, 4 導体）の適用について検討した結果、以下の理由で有用な低ロス電線の選定はできなかった。

- a. 400kV 系統のため相電流は少なくなり、従来電線でも送電ロス自体が小さい。
- b. 従来電線と低ロス電線の価格差が大きく、送電ロスの差による損失電力料金換算に伴うコストメリットが発生しない。

APPENDIX I

第 1 回現地調査 (2016 年 7 月 25 日～7 月 29 日)

**Data Collection Survey
on
Gas Thermal Power Generation
in
United Republic of Tanzania**

**1st Site Investigation Report
(25 ~ 29 July 2016)**

8 August 2016

Japan International Cooperation Agency

**NEWJEC Inc.
The Kansai Electric Power Co., Inc.**

1. Preface

JICA is conducting two (2) Master Plans, i.e. Power System Master Plan and Natural Gas Master Plan in Tanzania. Reflecting these Master Plans, JICA decided to set up this project. The project is fast track program (start in mid-July, finish in mid-October).

JICA Study Team is scheduled to visit Tanzania twice. This report explains the 1st site investigation results (25 ~ 29 July).

Members and schedule are shown in Table 1 and Table 2, respectively.

Table 1 Members of JICA Study Team

Name	Position	Company
Hiroshi Tadokoro	Senior Adviser	JICA
Tsunaki Ito	Officer	JICA
Rosina Apolei	Assistant Program Officer	JICA Tanzania office
Tetsuo Sada	Leader/Mechanical Engineer	NEWJEC
Junji Hirano	Mechanical Engineer	NEWJEC
Hidenobu Okuda	Ditto	Kansai Electric Power
Ryosuke Ishii	Electrical Engineer	NEWJEC

Table 2 Schedule

Date	Day	Activity
25 July	Mon	10:00-11:00 Meeting with JICA
		14:00-16:00 Meeting with TANESCO for Interview
26 July	Tue	09:00-11:30 Site Visit on Ubungo I & II Power Plant
		12:00-14:00 Site Visit on Kinyerezi I Power Plant
		14:10-14:45 Site Visit on Kinyerezi II Power Plant (Under construction)
27 July	Wed	11:00-12:00 Meeting with MEM
		13:00-14:00 Meeting with TANESCO
28 July	Thu	10:00-11:00 Meeting with TPDC
29 July	Fri	10:00-12:00 Wrap-up meeting with TANESCO
		15:00-16:30 Meeting and Reporting to JICA Tanzania

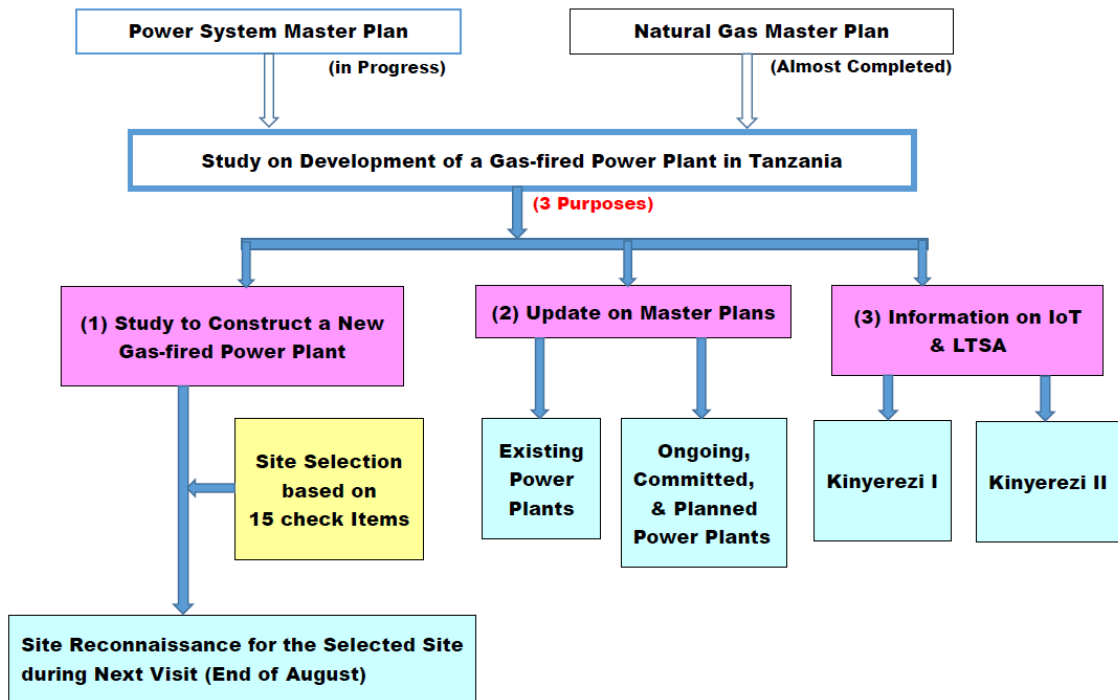
*Ubungo I is Gas Engine Power Plant

2. Purpose of the Project

Table 3 explains the project. There are three (3) major purposes:

- (1) Study to construct a new gas-fired power plant
- (2) Update on Master Plans
- (3) Information on IoT & LTSA

Table 3 Purpose of the Project



3. Study to construct a new gas-fired power plant

TANESCO carried out the site investigation for nine (9) candidate sites between 27th October until 6th November 2014.

By discussing with TANESCO and by using 15 check items, JICA Study Team try to narrow nine (9) candidate sites down to 3,4 sites that allow JICA Study Team to inspect the sites in one (1) week.

Table 4 shows discussion results. As the result, four (4) sites (Mtwara Site 1 & 2 and Lindi Site 1 and 2) are selected to conduct site reconnaissance during next visiting period (tentatively 29 August ~ 3 September 2016).

Table 4 Screening of Sites (29/July/2016)

Good Bad Worst

No.	Check Item	Mkuranga			Kilwa-Somanga		Lindi		Mtwara		
		Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 1	Site 2	Site 1	Site 2	
1	Power Demand	We assume that there is a strong power demand									
2	Transmission Line	400kV transmission lines will be constructed in 2019. But Mkuranga sites are apart from 40km from the transmission lines,					Request to construction a new gas-fired power plant with 400kV transmission lines is issued by Tanzania Government.				
3	Gas Supply Capability	It is confirmed that gas supply to a new gas-fired power plant (300MW class) is capable by the gas supply and demand balance of PSMP.									
4	Gas Pipeline Length	Distant (18~25 km)			Very short (0.4~1.2 km)		Distant (27~35 km)		Short (13)	Distant (20)	
5	Power demand near Site	Dar es Salaam			-		LNG terminal (future)		Cement, Nickels, Graphite factories		
6	Cooling Water System for Steam Turbine	It seems to be air cooling due to long distance from the sea (1.7~4.6 km)					Possibility of sea water cooling (0.4~0.6km)		Same as Lindi (0.8km)	Same as Mkuranga (4)	
7	Raw Water Supply	Raw water supply is crucial. Desalination plant (for whole area) or Town water (possibility only for Mtwara and Kilwa)									
8	Unloading/Transportation of Heavy Equipment	Dar es Salaam Port, then land transportation. But sites are apart from 45km from main road.			There is a port in Kilwa. (Reinforcement be required)		Jetty at the site seems to be required.		Same as Kilwa-Somanga site		
9	Land Space	By the site inspection									
10	Easiness of Land Acquisition	In general, land acquisition is not difficult in Tanzania.									
11	Site Conditions (Topography, Geology, Fault Zone)	Topography, Geology: By the site inspection Fault Zone: No fault zone in these area									
12	Oceanography (Sea level, Tidal wave, Tidal flow)	In general, shallow sea in these area, but deep sea are expected in Kilwa and Mtwara port sites (confirmed by the site inspection).									
13	Environmental Issue (Protected Area, etc.)	Mangrove forest. (cutting it needs permission from Authority)			Extensive wetland designated as the sanctuary by Ramsar Convention		Mangrove forest. (cutting it needs permission from Authority)				
14	Site Population	Unpopulated area									
15	Fishery Activity	Exclusive use of sea in front of a new gas-fired power plant is possible due to minor fishery activity.									
Overall Evaluation		Rank 3			Rank 4		Rank 2		Rank 1		

4. Update on Master Plans

Through the courtesy of TANESCO, we have visited Ubungo II and Kinyerezi I. This is the summary of our site visit.

4-1 Existing Power Plant (Ubungo II)

We have visited Ubungo II. We found out that the plant is well organized and kept things in tidy. The unit 1 of the plant has been suffered by Forced outage from 26/June /2016. SIEMENS inspectors from Sweden conducted bore scope inspection on 25-28/July/2016 and the root cause of the Forced outage is unclear now. The repair of unit 1 will be done within this year. Table 5 shows the investigation results of Ubungo II.

4-2 Ongoing, Committed & Planned Power Plants (Kinyerezi I & II)

(1) Kinyerezi I

We have visited Kinyerezi I. We found out that the plant is well organized and kept things in tidy. The feature of the plant is that they use chiller for Unit 1 and 2 for inlet cooling. The inlet cooling is good technology to bring up output. They have a plan to install the chiller for Unit 3 and 4 in the future at the same time with Kinyerezi I Expansion. Table 5 also shows the investigation on results of Kinyerezi I.

Table 5 Findings of Site Visit

	Ubungo II	Kinyerezi I
Commercial Operation Year	Apr 2012 (First COD) June 2012 (Full COD)	Oct 2015 (First COD) Mar 2016 (Full COD)
Output	SGT-800 × 3 (43MW × 2, 35MW × 1)	LM6000PF × 4 (44MW × 2, 35MW × 2)
Gas Source	✓ Mnazi Bay (Songo Songo Gas Field in the past)	✓ Mnazi Bay
Site Visit Date	26/July/2016	26/July/2016
Operation	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unit 2 & 3 are in full-load operation. ✓ The control room is kept in order and easy for monitoring. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Jet Fuel is stored (3750 m³ × 2 tanks) at site in case fuel gas is not available. ✓ Chiller for inlet cooling is equipped. ✓ Gas Turbine Filter's different pressure often increase. It may be sand from nearby construction site.
Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Daily maintenance is done by Ubungo II. ✓ The unit 1 of the plant has been suffered by Forced outage from June/2016 and bore scope inspection was conducted on 25-28/ July/2016. It is long time comparing our experience. ✓ The each of pipes for water, gas etc. are distinguished by color to avoid human error. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ In gas turbine room, there are hoist crane for easy maintenance. ✓ Workshop is kept in order and easy for maintenance.

	Ubungo II	Kinyerezi I
Capacity Investment	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unit 2 & 3 were upgraded into 43MW. Unit 1 will be upgraded in Nov/2016. ✓ Under study for change into GTCC. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Chiller for Unit 3 & 4 in the future.
Site Management	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Things are well organized and put in order. ✓ Culture of Safety first is penetrated. The plant has fire-fighting equipment including fire water tank, fire hydrant system. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Things are well organized and put in order. ✓ Culture of Safety first is penetrated. The plant has fire-fighting equipment including fire water tank, fire hydrant system.

*Kinyerezi III & IV seem not to proceed well

(2) Kinyerezi II

We have visited Kinyerezi II construction site. The plant is GTCC power plant with 6 H-25 Gas Turbines and 2 Steam Turbines. The construction started in March/2016 and constructed about 100 piles. The site has 300m×260m area and moreover they have acquired laydown area.

5. Information on IoT & LTSA

We have discussed with TANESCO regarding Remote Monitoring for Kinyerezi I. Remote Monitoring is one of the GE's Industrial Internet tools.

According to TANESCO, Kinyerezi I has no Remote Monitoring Service by GE. They monitor the plant by themselves at Control Room and they will receive advice from GE when some trouble happens.

However, TANESCO and GE are under discussion on O&M for future. TANESCO got proposal from GE and it includes dispatch of two GE engineer to the site.

6. Photos

Ubungo II Power Plant



Site View



Evacuation Plan



GT (#1)



GT (#3)



GT (#1: Inspection)



Meeting

Kinyerezi I Power Plant



Site View



GT (#4)



Work Shop



Control room



Raw & Fire Water Tank (+Fire engine)



Chiller pipes

Kinyerezi II Power Plant

(Under construction)



Site View (Piling)



Office (Under construction)



Kinyerezi I & II (Aerial view)

Meeting Snaps



Ubungo II (26/July)



Kinyerezi I (26/July)



MEM (27/July)



TPDC (28/July)



TANESCO (29/July)



TANESCO (29/July)

APPENDIX II

第2回現地調査 (2016年8月29日～9月9日)

**Data Collection Survey
on
Gas Thermal Power Generation
in
United Republic of Tanzania**

**2nd Site Investigation Report
(29 August ~ 9 September 2016)**

8 September 2016

Japan International Cooperation Agency

**NEWJEC Inc.
The Kansai Electric Power Co., Inc.**

1. Preface

JICA study team has conducted 1st stage investigation during 25 ~ 29 July 2016, in which candidate sites for a 300 MW class GTCC were narrow 9 sites down to 4 sites by evaluating 15 check items on the existing information.

JICA and TANESCO joint study team has carried out the site reconnaissance for selected 4 candidate sites during 29 August ~ 2 September 2016. As the results, investigated candidate sites increase from 4 sites to 7 sites in the course of site investigation. Taking this opportunity, JICA and TANESCO joint study team has visited not only candidate sites but also pertinent authorities and facilities.

Members and schedule/Investigation items are shown in Table 1 and Table 2 respectively.

Table 1 Members of JICA Study Team

Name	Position	Company
Hiroshi Tadokoro	Senior Adviser	JICA
Abdallah Chikoyo	Planning Mechanical Engineer	TANESCO
Alex Gerald	Planning Electrical Engineer	TANESCO
Tetsuo Sada	Leader/Mechanical Engineer	NEWJEC
Junji Hirano	Mechanical Engineer	NEWJEC
Hidenobu Okuda	Ditto	Kansai Electric Power
Shingo Suzuki	Ditto	Kansai Electric Power

Table 2 Schedule/Investigation items

Date	Day	Investigation items
29 August	Mon	TANESCO Mtwara office Mtwara Local Government TANESCO Mtwara Power Plant (18MW Gas Engine) Mtwara Port Authority
30 August	Tue	Site reconnaissance of Mtwara Site 1 Site reconnaissance of Mtwara Site 2 Site reconnaissance of Mtwara New Site Site reconnaissance of TANESCO Site
31 August	Wed	Mtwara Water Supply Authority TPDC Gas Processing Terminal at Mtwara
1 September	Thu	Site reconnaissance of Lindi Site 1 Site reconnaissance of Lindi Site 2 Site reconnaissance of Lindi New Site Lindi Local Government Lindi Port Authority
2 September	Fri	Lindi Land Authority Lindi Water Supply Authority Detailed site reconnaissance of Mtwara New Site

After scrutinizing the investigation results on 7 candidate sites, JICA and TANESCO joint team can select the best feasible candidate site.

2. Site Investigation Results

The table 3 explains 7 candidate sites and Fig. 1 shows the location of each candidate site and Table 4 and Table 5 show the site investigation results respectively.

Table 3 Explanation of the candidate sites

	Name of Site	Explanation
Mtwara	Mtwara Site 1	The site selected by TANESCO's investigation in 2014.
	Mtwara Site 2	Ditto
	Mtwara TANESCO Site	The site that TANESCO plans to obtain
	Mtwara New Site	The site that is found in the course of discussion with Mtwara Local Government
Lindi	Lindi Site 1	The site selected by TANESCO's investigation in 2014.
	Lindi Site 2	Ditto, and the site is former/old TANESCO's DG P/S
	Lindi New Site	The site proposed by TANESCO



Figure 1 Location of the Candidate Site

Table 4 Screening of Sites (29/July/2016)

No	Item	Candidate Sites			
		Mtwara Site 1	Mtwara Site 2	Mtwara TANESCO Site	Mtwara New Site
1.	Topography	Coastal flat low land with about 1 m - 2 m above sea level. Empty land with bush and many Baobab trees, without agriculture. Enough space for a 300MW class GTCC.	Coastal flat land with about 4 m above sea level. Empty land with bush and only a few Baobab trees, without agriculture. Enough space for a 300MW class GTCC.	Flat high land with 40 ~ 50 m above sea level. Empty land with bush without agriculture. Enough space for the gas-fired power plant complex (1 km x 1 km).	The site is located at the edge of small peninsular. Coastal flat land with about 4 ~ 5 m above sea level. Empty land with bush and only a few Baobab trees (5 trees), without agriculture. Space seems to be enough for a 300MW class GTCC.
2.	Geology	Silty sand with outcrop of rock and coral rock. No fault Zone.	Silty sand with outcrop of rock and coral rock. No fault Zone.	Silty clay with outcrop of rock. No fault Zone.	Silty sand with outcrop of rock and coral rock. No fault Zone.
3.	Oceanography	Shallow sea with beach and lagoon, without mangrove trees. Deep water is expected more than 2 km from shore.	Shallow sea with beach and lagoon, with only a few mangrove trees. Deep water is expected at 1 ~ 2 km from shore.	The site is about 300 m away from the edge of narrow bay.	Deep sea with narrow beach, with only a few mangrove trees. Deep water is expected at about 0.6 km from shore.
4.	Raw Water Supply	There is the Mtwara Ruvuma River Supply Project. The design has finished and MOF is now reviewing the financial items. After approval by MOF, it takes about 2.5 years to complete the project. Supply capacity in 2022 is about 50,000 m ³ /day. Although water supply area is south region from the airport, it is possible to supply water to the 300MW class GTCC (water demand is about 300 m ³ /day). Water will be supplied from 1,000 m ³ water storage tank at Mikindani by water piping. The distance between the Ruvuma River and the water storage tank in Mikindani is about 60 km.			
5.	Road	The distance of access road from main road is about 5 km with 3 ~ 5 m width and unpaved.	The distance of access road from main road is about 6.5 km with 3 ~ 5 m width and unpaved.	The distance of access road from main road is about 7 km.	The distance of access road from main road is about 8 km with 4 ~ 6 m width and unpaved.
6.	Length of Gas Pipeline	Distance from BVS 01 is about 13 km.	Distance from BVS 01 is about 20 km.	Distance from BVS 01 is about 9 km.	Distance from BVS 01 is about 13 km.
7.	Distance to 400kV T/L	Later	Later	Later	Later
8.	Mtwara Port	1 × 100 ton mobile crane, 1 × 120 ton mobile crane (adjacent oil company's property). Wharf length is 385 m and its depth is 9.5 m at normal sea water level. New port is planned to be constructed of which wharf length is 300 m and its depth is 13 ~ 14 m.			
9.	Human Elements around Plant	Almost no household in the plant site. Nearby village is located about 1 km from the plant site with 260 households (853 people). Small fishing activities.	Almost no household in the plant site. Nearby village is adjacent to the plant site with 200 households (800 people). Small fishing activities. Small cattle raising activity	Almost no household in the plant site. Nearby village is located about 2 km from the plant site with small number of households.	3 households in the plant site. Nearby village is adjacent to the plant site with 162 households (593 people). Small fishing activities.
10.	Local Power Demand	Cement, Graphite, Nickel, Gold (small), Fertilizer, Gas treatment plant, Water supply			
11.	Environmental Issues	Air pollution source nearby plant site is Dangote (cement company) industry about 10 km away from the plant site.	Same as Mtwara Site 1	Air pollution source nearby plant site is Dangote (cement company) industry about 7 km away from the plant site.	Air pollution source nearby plant site is Dangote (cement company) industry about 13 km away from the plant site.
12.	Conclusion of the Site	(1) Backfill of the plant site with 2 ~ 3m is required. (2) Geological conditions seem to be good (3) Sea water cooling cannot be adopted due to shallow sea. Air cooled condenser is sole solution. (4) Heavy equipment can be unloaded at Mtwara port and transported by the main road, but 5 km access road has to be widened and paved.	(1) Backfill of the plant site on large scale is not expected. (2) Geological conditions seem to be good (3) There is a possibility of sea water cooling, if the distance of deep sea is around 1 km (measurement is required). (4) Heavy equipment can be unloaded at Mtwara port and transported by the main road, but 6.5 km access road has to be widened and paved. (5) Environmental measures for nearby village is required during construction stage and operation stage of the plant. (6) Job opportunity for resident is positive impact.	(1) Backfill or excavation of the plant site is not required. (2) Geological conditions seem to be good (3) Air cooled condenser due to high land. (4) Heavy equipment can be unloaded at Mtwara port and transported by the main road, but 7 km access road has to be widened and paved. (5) Length of the gas pipeline is the shortest among candidates.	(1) Backfill of the plant site is not expected. (2) Geological conditions seem to be good (3) Sea water cooling (once-through type) is adoptable due to suitable land height and deep sea. (4) Heavy equipment can be unloaded at the unloading jetty by utilizing the intake channel (no need to widen and pave the access road). (5) Environmental measures for nearby village is required during construction stage and operation stage of the plant. (6) Job opportunity for resident is positive impact.
Overall Ranking		5	3	2	1

Table 5 Site Investigation Result on Candidate Sites of Lindi

No	Item	Candidate Sites		
		Lindi Site 1	Lindi Site 2	Lindi New Site
1.	Topography	Coastal flat low land with about 3 m above sea level. Empty land with bush and only a few Baobab trees, without agriculture. Enough space for a 300MW class GTCC.	Slightly hilly high land with about 35 ~ 40 m above sea level. TANESCO former/old DG power station. Enough space for a 300MW class GTCC.	Slightly hilly high land with 7 ~ 8 m above sea level. Empty land with bush without agriculture. Enough space for a 300MW class GTCC.
2.	Geology	Silty sand with outcrop of rock and coral rock. No fault Zone.	Silt and clay with outcrop of rock. No fault Zone.	Silty clay with outcrop of rock. No fault Zone.
3.	Oceanography	Shallow sea with beach and lagoon, with only a few mangrove trees. Deep water is expected more than 2 km from shore.	The site is about 400 m away from seashore. Seashore is shallow and covered by mangrove forest.	Shallow sea with cliff, and big mangrove forest, without beach
4.	Raw Water Supply	Lindi water supply project is in progress. 7,500 m ³ /day will be supplied from deep wells to Lindi area. The project is expected to be completed in December 2016. The water source is abundant and capable to install another train. It is possible to supply water to the 300MW class GTCC (water demand is about 300 m ³ /day).		
5.	Road	The distance of access road from main road is about 6 km with 2 ~ 4 m width and unpaved.	The distance of access road from main road is about 300 m with about 3 m width and unpaved.	The distance of access road from main road is 1.5 km.
6.	Length of Gas Pipeline	Distance from BVS 03 is about 35 km.	Distance from BVS 03 is about 27 km.	Distance from BVS 03 is about 31 km.
7.	Distance to 400kV T/L	Later	Later	Later
8.	Lindi Port	No unloading equipment. Depth of wharf is at present 4m at high tide (2m at normal tide). After dredging (September 2016), wharf depth will be 7 ~ 8 m at high tide		
9.	Human Elements around Plant	1 household in the plant site. Nearby village is located about 200 m from the plant site with 3 households (3 people). Small fishing activities.	No household in the plant site. No village due to industrial area around the plant site	Almost no household in the plant site. Nearby village is located about 1.5 km from the plant site with big households. Small fishing activities.
10.	Local Power Demand	Graphite, Nickel, Gold (small), Future LNG,		
11.	Environmental Issues	Nothing	Nothing	Nothing
12.	Conclusion of the Site	(1) Backfill of the plant site with 1 ~ 2 m is required. (2) Geological conditions seem to be good (3) Sea water cooling cannot be adopted due to shallow sea. Air cooled condenser is sole solution. (4) Heavy equipment must be unloaded at Mtwara port and transported by the main road with long distance, and farther 6 km access road has to be widened and paved.	(1) Excavation and backfill of the plant site seem to be required to level the ground of the plant site. (2) Geological conditions seem to be good (3) Air cooled condenser due to high land and mangrove forest. (4) No need to acquire land due to TANESCO's property. (5) Heavy equipment must be unloaded at Mtwara port and transported by the main road with long distance. (6) For altitude optimization, it may require land extension towards Lindi-Mtwara main road.	(1) Excavation and backfill of the plant site seem to be required to level the ground of the plant site. (2) Geological conditions seem to be good (3) Air cooled condenser due to shallow sea and big mangrove forest. (4) Heavy equipment must be unloaded at Mtwara port and transported by the main road with long distance, and farther 1.5 km access road has to be widened and paved
Overall Ranking		7	4	6

4. The Best Feasible Site

JICA and TANESCO joint study team selected Mtwara new site as the best feasible site for a 300 MW GTCC Power Plant. The major reasons are as follows;

- (1) The site is ideal land height as power station. Any backfill or excavation seems not to be required
- (2) The site is located at the edge of small peninsular and surrounded by deep sea. Therefore, sea water cooling (once-through type) system can be adopted (Fig.2 shows the comparison among steam turbine cooling system).
- (3) Intake channel of the sea water cooling system can utilized as the unloading jetty, therefore the heavy equipment can be directly unloaded at the site without land transportation (Fig. 2 shows the conceptual idea of the unloading jetty).
- (4) Environmental measures for nearby village is required during the construction stage and operation stage of the plant. However, the plant is gas-fired power station that is environmental friendly plant compared with the coal-fired plant. There are no environmental impact related to coal and ash. Only expected impact seems to be noise, but it can be solved to set the noise level at the plant boundary by the appropriate level during the plant design stage.
- (5) The power plant will give good job opportunity for residents in nearby village during the construction stage and operation stage of the plant. This is one of positive impact.

Item	Sea water cooling	Cooling tower	Air-cooled condenser
Installation cost	High	Low	High
Efficiency of S/T	High	Medium	Low
Fresh water consumption	Almost 0	High	Almost 0
Space of land	Base	Almost same as sea water cooling	More vast
Land height above NSWL	4~5 m	No limitation	No limitation
Possibility of unloading Jetty	Yes	No	No
Notice 1	Hot water recirculation and heat accumulation have to be avoided	No notice	No notice
Notice 2	Mangrove forest area have to be avoided	No notice	No notice

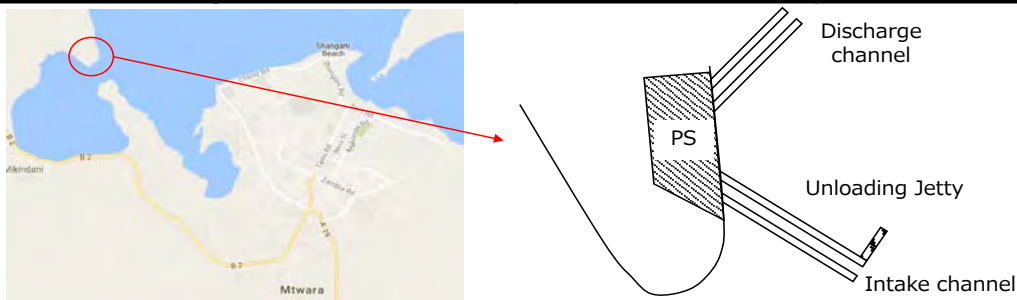


Figure 2 Comparison of S/T Cooling System and Conception of Unloading Jetty

5. Power Plant Area of the Best Feasible Site

Figure 3 shows the power plant area of the best feasible site. The hatched lines marked in red shows the plant area, and the hatched lines marked in green shows the reserved space if the plant area is short though several Baobab trees are required to be cut.

We will later confirm if the plant area is enough for a 300MW GTCC, and the result will be explained in the Draft Final Report.



Figure 3 Power Plant Area of the Best Feasible Site

6. Photos

Mtwara Site 1



Baobab



Sea Shore



Fishing Activities (Small)



Fishing Activities (Small)



Land View



Land View

Mtwara Site 2



Sea Shore



Mangrove (Small)



Cattle Raiser



Village



Land View



Land View

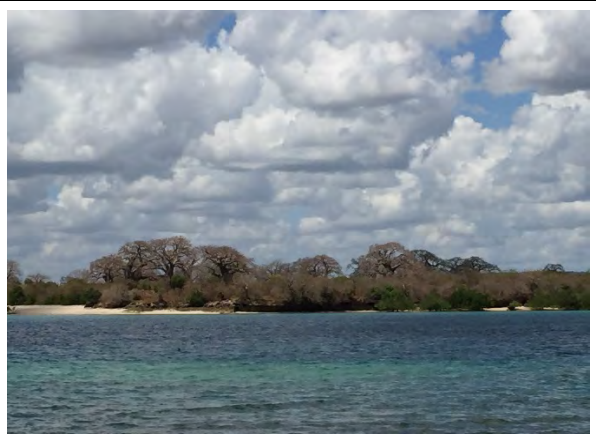
*Mtwara TANESCO Site
(Land View)*



Mtwara New Site



Deep Sea



Deep Sea



Sea Shore (P1)



Southern Edge Point (P2)



Baobab (P4)



Northern Edge Point (P6)

Lindi Site 1



Mangrove Forest



Sea Shore



Sea Shore



Sea Shore



Land View



Land View

Lindi Site 2



Land View



Land View



Land View (Mangrove delta)



Land View (Mangrove delta)



Former / Old DG Plant



Access Road

Lindi New Site



Land View



Eclipse of the Sun @1st September



Big Mangrove Forest



Big Mangrove Forest



Outcrop of rock



Outcrop of rock

Meetings



TANESCO Mtwara (29/August)



Mtwara Local Government (29/August)



Mtwara Port Authority (29/August)



Mtwara Urban Water Supply (31/August)



TPDC NG Terminal (31/August)



TANESCO Lindi (1/Sept.)

Meetings



Lindi Port Authority (1/Sept.)



Lindi Land Authority (2/Sept.)



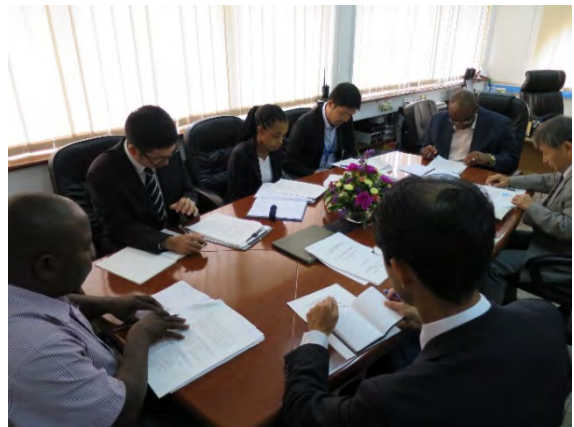
Lindi Urban Water Supply (2/Sept.)



TANESCO Planning Dept. (5/Sept.)



Kinyerezi II Office (5/Sept.)



TANESCO HQ (7/Sept.)

APPENDIX III

Site Earmarking Report for the Proposed Mkuranga 250MW CCGT Power Plant Project



TANZANIA ELECTRIC SUPPLY COMPANY LIMITED

“We light up your life”

**Site Earmarking Report for the Proposed Mkuranga 250MW CCGT Power
Plant Project**

Abdallah Chikoyo
Dismas Mbote
Fikirini Mtandika
Izaria Luvanda

27th October – 6th November 2014



Prepared for the
Strategic Planning Department
TANESCO
Dar es Salaam

Table of Contents

1. Study Overview	1
2. Mtwara – Dar es Salaam Gas Pipe line.....	1
3. Possible Gas Taping Points.....	1
4. Earmarked Sites	3
5. Team Opinion on Site Selection and Evaluation	4
6. APPENDICES	5
Appendix 1: Gas Pipeline	1
Appendix 2 : Mkuranga Sites - 1	2
Appendix 3: Mkuranga Sites - 2	3
Appendix 4: SomangaFungu Site	4
Appendix 5: Lindi.....	5
Appendix 6: Mtwara	6

1. Study Overview

Tanzania Electric Supply Company Limited (TANESCO) and the United States Agency International (USAID) have contracted Consultants CDM Smith and Mott MacDonald to carry out three Pre-Feasibility Studies for a proposed 250 MW Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) generation facility, 400 kV Transmission Line from Mtwara – SomangaFungu and 220 kV Transmission Line from Kakono to Nyakanazi.

The proposed pre-feasibility study will involve selection of site for generation facility and identification of the possible routes for mentioned transmission lines. This report dwells on the preliminary site selection for generation facility, the Mkuranga 250MW CCGT.

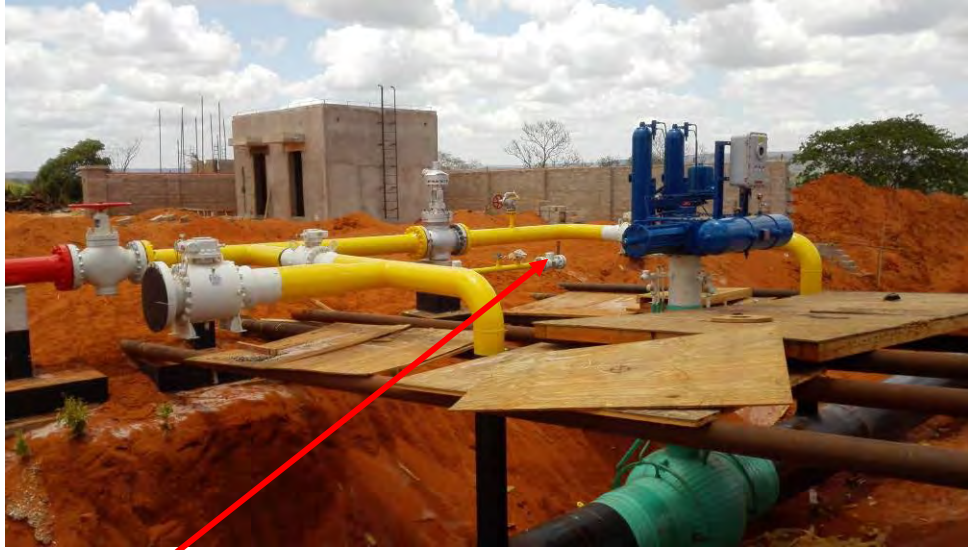
2. Mtwara – Dar es Salaam Gas Pipe line

The Mkuranga 250MW CCGT will be fuelled from Mtwara – Dar es Salaam main natural gas pipe line. The appended map (appendix 1) for gas pipeline show pipe meander and the positions of Block Valve Stations (BVS) which have gas tapping-off provisions.

The main gas pipe line has a diameter of 36 inches and capacity of 784 mmscfd, of which the first year will supply 220 mmscfd and thereafter increase gradually to its full capacity within ten years. The pipeline line is expected to be operational from 2015. Tanzania Petroleum Development Corporation (TPDC) has already finalized Gas Sales Agreement (GSA) with TANESCO to supply new gas fired power plants (ie. Kinyerezi I) expected to be commissioned in first half of 2015.

3. Possible Gas Taping Points

TPDC provided coordinates for possible taping points (BVS) and thereafter verified by TANESCO team, the respective coordinates are shown in the table below.



Gas Take-off Point under Construction at BVS 03. Kilwa



Typical tapping point at SomangaFungu. This point will supply natural gas to Kilwa Energy power plant and any other,

BVS coordinates

BVS NAME	COORDINATE (Easting & Northing)	
	X	Y
BVS 13 (Mkuranga)	524844.581	9204551.15
BVS – Somanga Fungu	529275.89	9066470.43
BVS 03 (Lindi)	561382.97	8881061.913
BVS 01 (Mtwara)	612587.089	8863494.129

4. Earmarked Sites

There are nine(9) earmarked sites for generation facility, the sites were chosen with respect to the BVS position, sea water accessibility and with consideration of the consultant’s site selection criteria. The following are coordinates of the earmarked sites.

District	Site Name	Coordinates (Easting & Northing)			Distance (to site - km)	
		Zone	X	Y	From BVS	From Sea
Mkuranga (BVS 13)	Site 1	-37	545072.04	9202457.05	18	4
	Site 2	-37	547567.85	9206259.91	23	4.6
	Site 3	-37	536504.23	9181334.59	25	1.7
Kilwa - Somanga (BVS Somanga)	Site 1	-37	529343.25	9066947.77	0.4	4
	Site 2	-37	530361.75	9066236.19	1.2	2.5
Lindi (BVS 03)	Site 1	-37	585970.59	8907107.29	35	0.6
	Site 2	-37	579510	8901078.7	27	0.37
Mtwara (BVS 01)	Site 1	-37	623142.7	8869147.26	13	0.8
	Site 2	-37	622974.56	8870502.97	20	4



Existing TANESCO 8MW gas fired generators at SomangaFungu Site.

5. Team Opinion on Site Selection and Evaluation

TANESCO understands that the consultant will evaluate the earmarked sites and recommend the best one.

Considering the estimated distances and site accessibility, Somanga Fungu sites seem to be more ideal compared to other visited sites, if at all there are no other outweighing technical factors. The Somanga fungu site is also planned to have a nearby Substation that will be serving Kilwa Energy 320MW CCGT power plant, the substation is now under feasibility study.

6. APPENDICES

Appendix 1: Gas Pipeline



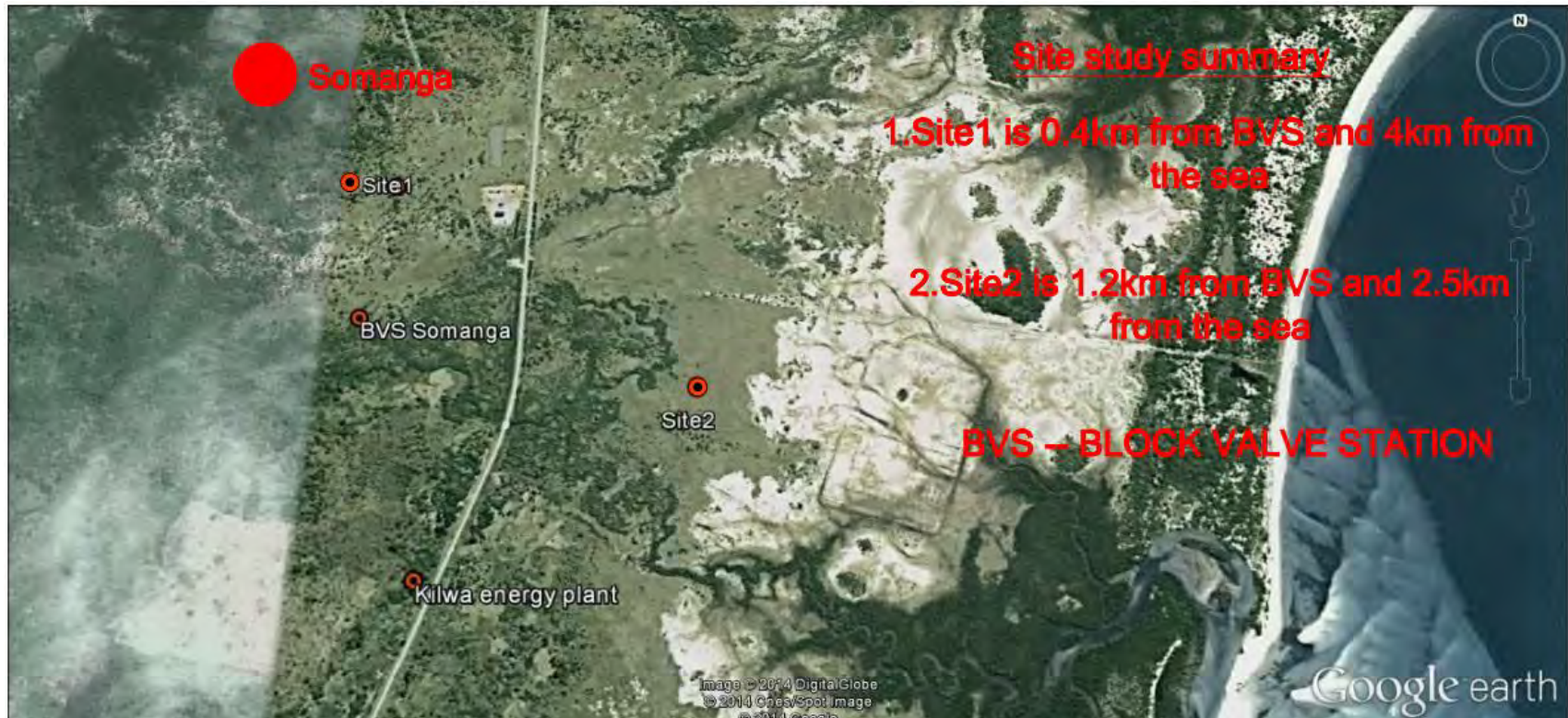
Appendix 2 : Mkuranga Sites - 1



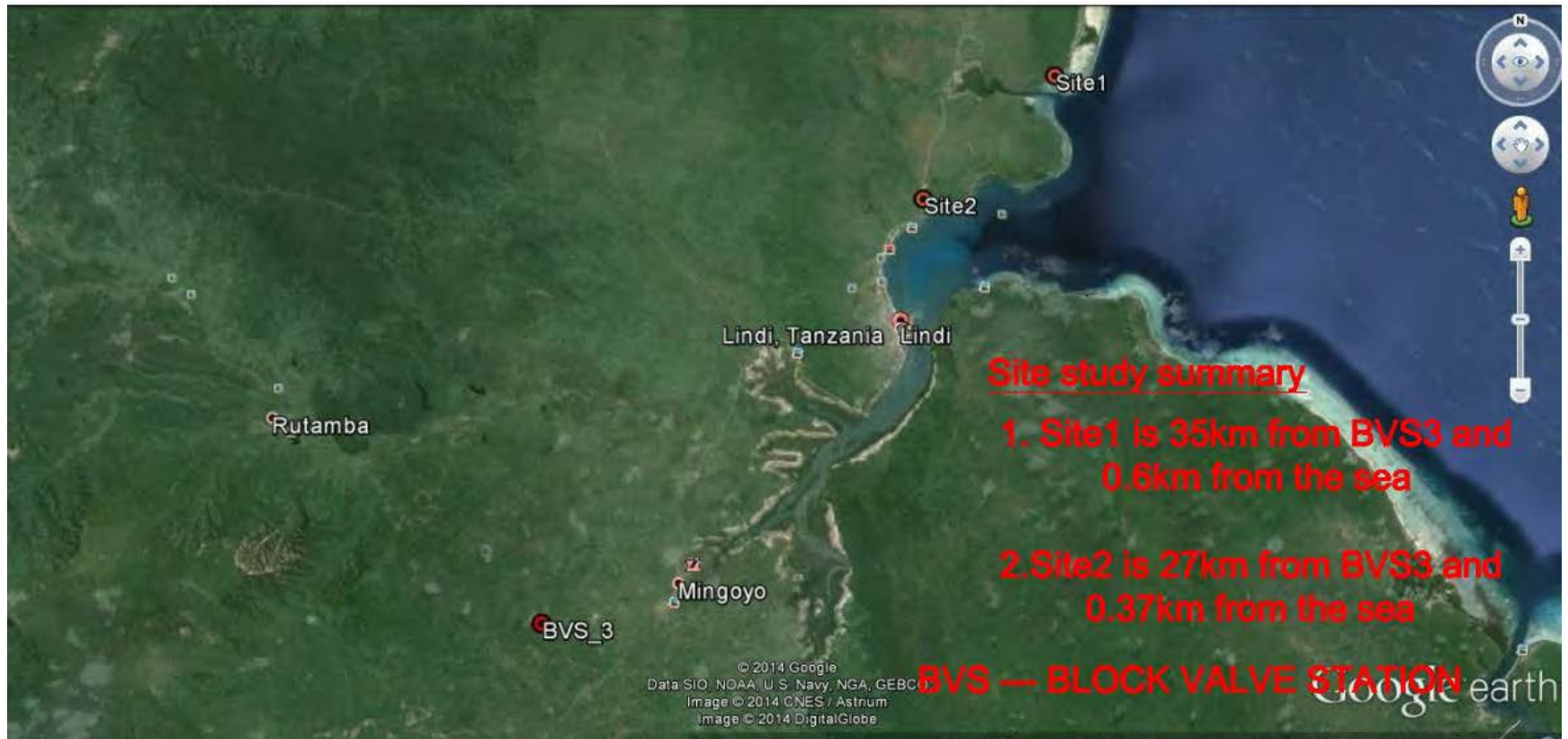
Appendix 3: Mkuranga Sites - 2



Appendix 4: SomangaFungu Site



Appendix 5: Lindi



Appendix 6: Mtwara

