

コートジボワール国

コートジボワールエナジー (CI ENERGIES)

# コートジボワール国電力セクターに係る 情報収集・確認調査

平成 31 年 3 月  
(2019 年)

独立行政法人  
国際協力機構(JICA)

株式会社アジア共同設計コンサルタント

産公
CR (5)
19-020

コートジボワール国

コートジボワールエナジー (CI ENERGIES)

# コートジボワール国電力セクターに係る 情報収集・確認調査

平成 31 年 3 月  
(2019 年)

独立行政法人  
国際協力機構(JICA)

株式会社アジア共同設計コンサルタント

# 目 次

## 目 次

<b>第7章 協力対象事業候補の検討</b> .....	<b>7-1</b>
7-1 有償資金協力候補案件の検討 .....	7-1
7-1-1 候補案件の計画内容 .....	7-1
7-1-2 候補案件の評価 .....	7-4
7-1-3 現場設備調査結果 .....	7-7
7-1-4 候補案件への本邦技術適用の提案（その1：低損失電線） .....	7-18
7-1-5 候補案件に関連した本邦技術の適用提案（その2：増容量電線） .....	7-25
7-1-6 候補案件の概略事業費検討 .....	7-27
7-1-7 候補案件の効果 .....	7-31
7-1-8 本案件に関する他ドナーの動向 .....	7-32
7-2 他の協力対象事業候補の検討 .....	7-33
<b>第8章 本邦技術の適用</b> .....	<b>8-1</b>
8-1 本邦技術の紹介 .....	8-1
8-2 本邦技術適用の提言 .....	8-3

# 图 表 目 次

## 図 表 目 次

図 7.1	中央幹線、北東部系統、南東部系統の増強計画	7-5
図 7.2	Taabo、Kossou、Yamoussoukro、Bouake2 各発電所の地理的關係	7-8
図 7.3	既設送電線の線下状況	7-9
図 7.4	集落周辺の送電線通過状況	7-9
図 7.5	既設 Bouake2 と Bouake3 の位置關係	7-10
図 7.6	Bouake3 変電所建設候補地点	7-10
図 7.7	Yamoussoukro2 変電所建設候補地点	7-11
図 7.8	Yamoussoukro2 変電所建設候補地点	7-11
図 7.9	Yamoussoukro1 変電所の既設状況	7-12
図 7.10	Taabo 変電所の全景	7-12
図 7.11	Taabo 発電所と変電所	7-13
図 7.12	延長済みの母線（左）と開閉設備設置スペース（右）	7-13
図 7.13	送電線第 1 鉄塔建設地点（左）と排水路を隔てた対岸第 2 鉄塔位置	7-14
図 7.14	制御・保護装置収納建屋の状況	7-14
図 7.15	Taabo 変電所の結線図	7-14
図 7.16	Kossoou 発電所と変電所	7-15
図 7.17	Kossoou 発電所の結線図	7-15
図 7.18	開閉設備設置スペース（左が Yamoussoukro2 方面、右が Taab 方面）	7-16
図 7.19	Bouake2 変電所の結線図	7-16
図 7.20	Bouake2 変電所の全景	7-17
図 7.21	既設送電線の引込状況	7-17
図 7.22	Soubre 方面送電線引き出し工事の状況	7-18
図 7.23	ライフサイクルでの経済効果	7-22
図 7.24	想定される損失係数を考慮したライフサイクルでの経済効果	7-25
図 8.1	屋外タイプ GIS の適用メリット	8-1
図 8.2	低損失アモルファス変圧器の適用メリット	8-2

表 7.1	登録プロジェクト名と竣工目標年、予算 .....	7-1
表 7.2	有償資金協力候補案件のコンポーネント .....	7-3
表 7.3	選定した電線の通電量および形状・構造比較 .....	7-19
表 7.4	選定した電線の物理的特性比較 .....	7-20
表 7.5	選定した電線の損失低減効果とそれに伴う発電量抑制の経済効果 .....	7-21
表 7.6	Taabo-Kossou-Bouake 間の新設送電線に低損失電線を適用した場合のメリット .....	7-22
表 7.7	ピークおよびオフピークの潮流実績 .....	7-23
表 7.8	送電線に流れる年間潮流の想定 (Taabo-Kossou) .....	7-23
表 7.9	送電線に流れる年間潮流の想定 (Kossou-Bouake2) .....	7-24
表 7.10	Taabo-Kossou-Bouake 間の低損失電線を適合した場合のメリット(想定潮流) .....	7-24
表 7.11	選定した電線の通電容量および形状・構造比較 (増容量化) .....	7-26
表 7.12	選定した電線の物理的特性比較 .....	7-27
表 7.13	送電線設備想定概略仕様 .....	7-28
表 7.14	変電設備想定概略仕様 .....	7-29
表 7.15	資機材および工事費単価 .....	7-30
表 7.16	概算事業費の比較 .....	7-31
表 7.17	他の協力対象事業候補 .....	7-33
表 8.1	選定した電線の通電容量および形状・構造比較 (増容量化) .....	8-4
表 8.2	選定した電線の物理的特性比較 .....	8-5
表 8.3	コートジボワールで適用が考えられる本邦技術 .....	8-7

## 第7章 協力対象事業候補の検討



## 第7章 協力対象事業候補の検討

### 7-1 有償資金協力候補案件の検討

2017年11月のコンタクトミッションの際に、CI-ENERGIES より支援を強く要望された Taabo – Kossou - Bouake2 間の 225kV 1 回線送電線の新設（2 回線化）プロジェクトを有償資金協力候補案件として、計画内容及びコートジボワール側での調査・検討状況の確認、新設する送電線ルート、変電所建設候補地点、新設送電線を引出す既設変電所の現場調査、当該案件に対する他ドナーの動向調査などを実施した。

なお、本プロジェクトについては、CI-ENERGIES よりプレフ S の結果の一部について 2019 年 1 月に情報提供があり、プロジェクト内容および機器仕様に 2018 年 10 月の調査から若干の変更を行っていることが判明した。また、積算データが提示されているが、プレフ S は 300 頁に及び分析・評価は十分できないことから、本報告書での修正は行っていない。

#### 7-1-1 候補案件の計画内容

当該プロジェクトは、CI-ENERGIES の現行の計画で、2018 年～2030 年の竣工を目指し資金調達を実施中のプロジェクトリスト（Projets de Transport en cours de financement 2018-2030）に表 7.1 のように登録されている。

表 7.1 登録プロジェクト名と竣工目標年、予算額

番号	プロジェクト名	竣工年	予算額
30	225kVTaabo-Kossou-Bouake2 間送電線の新設 及び 225kVYamoussoukro2、Bouaké3 変電所の新設	2020	632 億 FCFA (126.4 億円) 1€=132¥で換算

なお、プロジェクトの総事業費（予算額）については、マスタープランでは、後述する表 7.2 に示すように、サブプロジェクト（コンポーネント）単位で示されており、プロジェクト総額は 77.731M€(102.6 億円、1€=132¥で換算)となっており、マスタープラン以降予算額の見直しが行われている。

マスタープランでは、サブプロジェクトとして、4 ルートの 225kV 送電線の新設、2ヶ所の 225kV 変電所の新設および 2 ルートの 90kV 送電線の新設、の 8 つのコンポーネントが登録されている。プロジェクト達成のためには、その他に、新設送電線を既設変電所に引込み、母線接続するため遮断器設置などの改修工事が必要となるが、マスタープランではサブプロジェクトとしての登録は無い。これについては、CI-ENERGIES との打合せで、当該プロジェクトに含まれる計画であることを確認した。

また、当該プロジェクトは、既に、CI-ENERGIES が現地コンサルタントのパワーコム社に、環境社会配慮調査、概略設計検討を委託しており、2018 年 11 月に調査報告書が提出されることになっている。

コンポーネントについては、CI-ENERGIES の設備担当者と現地コンサルタントの担当者同行のもとに行った関連する既設送電線ルート、既設変電所設備、変電所建設候補地点の現場調査の過程で、現地コンサルタントの検討に基づく提案により、現行計画から下記の変更がなされる可能性が高いことが判明した。

この変更についても、CI-ENERGIES との打合せで、コスト削減のため変更する方向で考えていることを確認した。

- ・新設の Bouake3 変電所は、現行案では Kossou – Bouake 間の新設送電線の直下に建設する計

画となっているが、適地が見つからないため、代替案として、既設の 225kV Bouake – Ferke 間の送電線直下に建設する案に変更。

- ・ 現行計画では、新設の 2 変電所とも、先ず 90kV に降圧し、そこから 35kV (周辺地域供給用) 15kV (市街地供給用) に降圧し、配電供給する計画となっているが、225kV から一気に 33kV、15kV に降圧するように変更。
- ・ これに伴い、90kV 送電線を新設し既設の 90kV 変電所と連系する計画は取りやめる。

以上を踏まえた、当該プロジェクトのコンポーネント<sup>1</sup>別の計画は、表 7.2 のようになる。

---

<sup>1</sup> 2019 年 1 月に CI-ENERGIES から提供された当該プロジェクトのプレ FS 結果では、コンポーネントとして、Taabo と Kossou の送電線引出口の増設が明記されるとともに、関連通信設備および Yamoussoukro2 と Bouake3 の配電線が含まれているが、本調査報告書では未分析のため対象外としている。

表 7.2 有償資金協力候補案件のコンポーネント

コンポーネント	設備規模	特記事項(変更点含む)	変更後の規模
Yamoussoukro2 変電所の新設 (8.638M€, 11.4 億円)	225/90kV, 100MVA x 2 90/33kV, 24MVA x 2 90/15kV, 36MVA x 2	・用地確保済 ・既設送電線直下地点から既設送電線ルートから約 10km 南方の位置に変更 ・内陸部給電指令所、配電制御所が併設される ・90kV 降圧を止め、225kV から 33kV,15kV に直接降圧	225/33kV, 24MVA x 2 225/15kV, 36MVA x 2
Bouake3 変電所の 新設 (8.638M€, 11.4 億円)	225/90kV, 100MVA x 2 90/33kV, 24MVA x 2 90/15kV, 36MVA x 2	・系統上の位置づけ変更 (Bouake2- Ferke 間既設送電線に変更) ・90kV 降圧を止め、225kV から 33kV,15kV に直接降圧	225/33kV, 24MVA x 2 225/15kV, 36MVA x 2
Taabo - Yamoussoukro2 間 送電線の 新設 (17.0M€, 22.44 億円)	225kV, 1 回線、80km Taabo 変電所開閉設備 設置	・既設送電線の容量(630A)が現状の標準容量(840A)より小さい ・既設送電線ルートから南方約 10km まで分岐する送電ルートを追加する計画に変更	送電線巨長は 80km から変更の可能性
Yamoussoukro2 - Kossou 間 送電線の 新設 (11.3M€, 14.9 億円)	225kV, 1 回線、50km Kossou 変電所開閉設備 設置	・新設変電所への引込は無しに変更	変更無し
Kossou - Bouake3 間 送電線の 新設 (22.7M€, 30.0 億円)	225kV, 1 回線、110km Kossou 変電所開閉設備 設置	・Bouake3 を経由しない案に変更	Kossou - Bouake2 間 送電線の 新設
Bouake3 - Bouake2 間送電線の 新設 (3.7M€, 4.9 億円)	225kV, 1 回線、10km Bouake2 変電所開閉設備 設置	Bouake3 を経由しない案に変更	
Yamoussoukro2 - Yamoussoukro1 間 送電線の 新設 (1.52M€, 2.0 億円)	90kV, 1 回線、7km Yamoussoukro 変電所開 閉設備設置	・計画の取りやめ	—
Bouake3 - Bouake1 間送電線の 新設 (4.24M€, 4.6 円)	90kV, 1 回線、20km Bouake 変電所開閉設備 設置	・計画の取りやめ	—

出所：CI-ENERGIES の資料を基に JICA 調査団が作成

この表で、コンポーネント欄の( )内数値は、マスタープランの段階でコンポーネント単位

に示されていた予算額であり、参考に示した。

## 7-1-2 候補案件の評価

### (1) 計画の必要性・緊急性

マスタープランの系統解析結果および系統運用面での対処方法の可能性を含めた CI-ENERGIES との打合せによる確認から、計画の必要性・緊急性については次のように判断される。

#### 1) 中央幹線の脆弱性

Taabo – Kossou – Bouake2 間の送電線に事故が発生すると、中央幹線に流れていた潮流は東側の 90kV 系統あるいは西部から北部の Ferke を経由する系統に分流することになるが、東側 90kV 系統は十分な送電容量が無いこと、西側系統から Ferke を経由する 90kV 系統についても、長距離送電による大幅な電圧低下と送電容量不足で、90kV 系統は OLR（過負荷リレー）による負荷遮断とその後の系統動揺により、最終的には内陸部ループを大アビジャンループから切離し、内陸部系統は全て停電となる可能性が高い。

この対策の一つとして、内陸部に 225kV ループ系統を形成する Laboa - Ferke 間 1 回線送電線の新設（2019 年 3 月）がある。また、中国融資により Bouake2 – Serebou – Dabakara - Kong - Ferke 間に送電線を新設し、Bouake – Ferke 間をループ系統にする信頼度強化策の工事が始まっており、将来的には東西から北部を経由する送電容量は増加する。

しかしながら、南西部ルートから北部への供給は電源地域から 600km を超す長距離送電となることから、電圧低下問題は解消されないことになり、特に、ブルキナファソ、マリへの電力輸出量が電圧低下により所定量確保できない懸念が示されている。従って、Taabo – Kossou – Bouake2 間に送電線を新設し、中央幹線を 2 回線化する必要性は高く、中央幹線の脆弱性の解消の緊急性は高い。

一方、中央幹線の系統信頼度強化策については、Abobo – Taabo 間に最近建設された Akoupe-Zeudji（現在は開閉所）を起点に、Adzope – Attakro – Daoukro - Serebou – Bouake2 間を結び、Abobo と Bouake 2 間をループ系統にするための 225kV 送電線新設計画があり、既に南側 Akoupe – Adzope 間はクウェートの融資が決定している。これが先にできれば中央幹線の必要性は薄まるが、Adzope – Serebou 間 265km の送電線新設計画については、まだ、資金調達先を探している段階であり、Taabo – Kossou – Bouake2 の 2 回線化に関心の高いドナーが多いことから調達の困難が予想される。また、中央幹線は、Taabo・Kossou の水力電源があり重要性が高いこと、南部の火力電源から北部への送電距離が短いことなどから、東部よりも必要性・緊急性は高いと判断される。

また、北部の日射条件の良いコロゴやブンディアリなどに、電力輸出の増大やエネルギーベストミックスを目的とし大規模太陽光発電が急速に拡大していくことが予想されるが、この場合、昼間の火力発電の抑制、夜間も電力輸出量を維持するための南部の火力発電からの潮流の増加など、将来的には難しい需給運用、系統運用を行うため、中央幹線の役割はますます重要となる。

図 7.1 に中央幹線と関連する北東部系統、南東部系統の増強計画を示す。

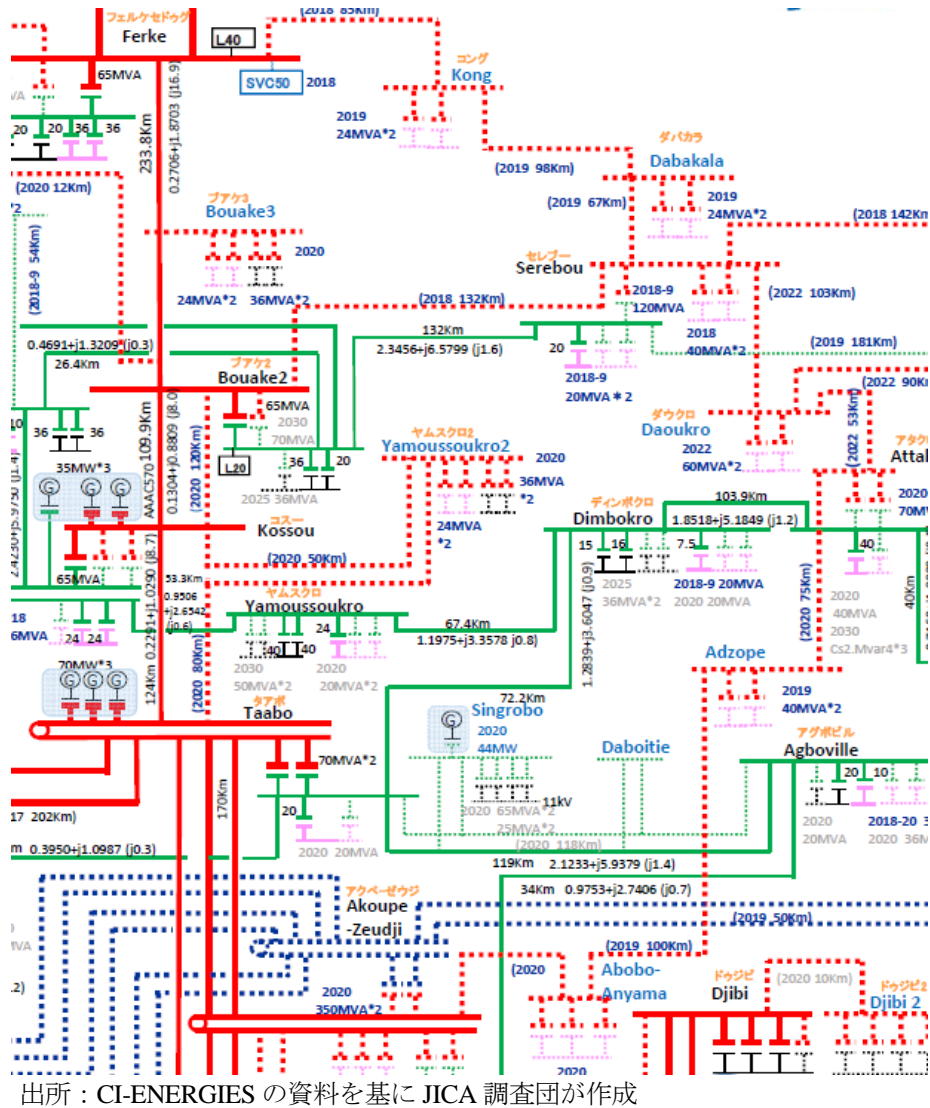


図 7.1 中央幹線、北東部系統、南東部系統の増強計画

## 2) ヤムスクロの供給力確保

ヤムスクロは首都として整備されてはいるものの、現在の実質的な政治の中心はアビジャンになっている。しかしながら、今後は、政府機関のヤムスクロへの移転が計画されていること、ヤムスクロはアビジャンから 200km 程度の距離で、アビジャンとの間に高速道路・鉄道が整備されていて経済・社会発展のポテンシャルが高いことなどから、大きな電力需要の伸びが予想されている。

現在、ヤムスクロ市内および周辺地域の配電供給は、90kV Yamoussoukro1 変電所の 90/15kV, 40MVA 変圧器 2 台と 90/33kV, 24MVA 変圧器 1 台から供給されている。Yamoussoukro1 の電源は Kossou と Taabo であるが、Kosso からの供給は 1 回線であり、Taabo からの供給も東の Dimbokro 変電所を経由する約 130km の 1 回線送電線となっている。また、Kosso の 90kV 母線は、225/90kV, 65MVA 変圧器 1 台と 35MW の水力発電機が接続されているだけであり、いずれも過負荷状態となっている。今後のヤムスクロと周辺地域の電力需要増および 90kV 系統の供給信頼度の低さを考えると、供給力は十分とは言えない状況である。

この対策として、ヤムスクロ近郊に 225kV Yamoussoukro2 変電所を新設し、そこから新たに市街地の 15kV 配電供給と周辺村落への 33kV 配電供給をする今回の計画は妥当であり、また、90kV 系統の増強をせずに 225kV から直接 33kV、15kV の配電電圧に降圧する効率的な設備形成とする計画に変更したことは評価できる。

### 3) ブアケの供給力確保

ブアケはアビジャンに次ぐ第2の経済都市であり、工業地域の整備など開発計画が多くあり、経済発展に伴い今後大きく電力需要が伸びることが予想されている。現在も、配電供給設備の整備の遅れから供給待ちの大口需要家も存在しており、配電網の整備は喫緊の課題となっている。

現在、ブアケ市内および周辺地域の配電供給は、90kV Bouake1 変電所の 90/15kV, 36MVA 変圧器 2 台と 90/33kV, 10MVA 変圧器 1 台と Bouake2 変電所の 90/15kV, 36MVA 変圧器 1 台と 90/33kV, 20MVA 変圧器 1 台から供給されている。Bouake1 の電源は Bouake2 と Kossou であるが、Bouake2 および Kossou からの供給はいずれも 1 回線である。また、Bouake2 の 90kV 母線は、225/90kV, 65MVA 変圧器 1 台からの供給である。今後のヤムスクロと周辺地域の電力需要増および 90kV 系統の供給信頼度の低さを考えると、供給力は十分とは言えない状況である。

この対策として、ブアケ近郊に 225kV Bouake3 変電所を新設し、そこから新たに市街地の 15kV 配電供給と周辺村落への 33kV 配電供給をする今回の計画は妥当であり、また、90kV 系統の増強をせずに 225kV から直接 33kV、15kV の配電電圧に降圧する効率的な設備形成とする計画に変更したことは評価できる。

#### (2) プロジェクトのロット分けと評価

候補案件プロジェクトについては、その必要性から「I 225kV 送電線全ルートの新設」と「II 225kV 変電所の新設」の2つのロットに分けることができるが、この場合、Iの緊急性が高く、IIの時期は若干遅らせることは可能と判断される。

また、地域的・地理的な視点からの「III Kossou 変電所から南側の送電線と変電所の建設」と「IV Kossou 変電所から北側の送電線と変電所」にロット分けすることもできるが、この場合、送電容量の低いIIIの増強工事の優先度が高いと判断される。

#### (3) プロジェクトの実施に向けての課題

プロジェクトの調査は送電線ルートと新設変電所建設候補地点の環境社会配慮調査、送電線鉄塔建設地点の選定、送電線・新設変電所および既設変電所の改修工事などの概略設計が地元コンサルタント（パワーコム）により進められており、2018年11月に調査結果<sup>1</sup>が報告されることになっている。

今回、CI-ENERGIES の設備担当者、地元コンサルタントに同行し現場設備の視察と意見交換により、以下のように実施に向け大きな課題がないことを確認した。

##### 1) 新設送電線ルート

225kV 新設送電線は既設 225kV 送電線に沿って建設する計画であり、後述の現地送電ルート調査から、鉄塔建設用地と線下土地の取得および建設上の大きな課題は無いと思われるが、現在、環境社会配慮調査が行われていることから、その結果を基に判断することになる。

---

<sup>1</sup> 調査結果については、プレFSとして2019年1月に概略設計の一部が提供されたが、環境社会配慮調査結果については、関係機関の審査後提供されることになっている。

## 2) 新設変電所建設地点

新設変電所の建設候補地点は、後述の現地調査結果のように、市街地を避けた未利用地で Yamoussoukro2 変電所については用地を既に確保済である。変更のあった Bouake3 変電所地点については、既設 225kVBouake - Ferke 間送電線の直下であり、線下は国の所有で周囲は未利用地である。

いずれも周辺には住宅などが無く、幹線道路に面していること、ほぼ平坦な地形であることなどから、建設上の大きな課題は無いと考えられる。

## 3) 既設変電所の送電線引出し

本プロジェクトには、新設送電線の既設変電所への接続が含まれることから、接続が可能な状況であるか、引込（引出）用鉄塔、開閉設備（遮断器・断路器・計器用変成器・避雷器）、母線、制御・保護装置収納建屋などの設置位置、スペース等について確認した。

この結果、Kossou 変電所（発電所変電設備）は、母線の延長が必要だが、世銀が融資する 225/90kV の変圧器増設工事で必要となる母線延長工事が実施されることを確認した。

Bouake2 変電所は Kossou からの既設送電線側は、ぎりぎり送電線の引出が可能と思われる（225kV 変電所構内地中ケーブルの適用が必要）。

また、Taabo 変電所は、既に将来新設される送電線の引出が可能なよう母線が延長されており、開閉設備を設置するスペースもあるが、Kossou 変電所方面の既設送電線とは反対側にあるため、一旦 225kV 地中ケーブルで反対側に出しやすい位置に第 1 鉄塔を建設し、既設鉄塔方面に方向を変え送電線が引き出せる計画となっている。

## 4) 既設設備との整合性

Taabo-Kossou 間の既設 225kV 送電線の容量(630A,246MVA)が、Kossou-Bouake 間既設送電線および新設する 225kV 送電線の容量(840A, 327MVA)より少ないため、新設送電線は常時約 75% しか利用できない。

新設送電線の利用率を上げるためには、既設送電線に送電容量に近い電流を常時流しておき、新設の送電線に事故があった場合に短時間送電容量を超えないような系統運用を行うか、あるいは瞬時に系統切替操作を行う装置の導入などが必要と考えられるため、その点について提案した。

### 7-1-3 現場設備調査結果

本プロジェクトの対象となる送電線・変電所の建設予定地の状況および 225kV 新設送電線を接続する Taabo、Kossou、Bouake 変電所の送電線を接続するため必要な設備、スペース、建設上の課題等について、CI-ENERGIES の設備担当者、本 PJ の計画策定に必要な調査・基本設計を担当しているコートジボワールのコンサルタント（パワーコム）に同行し、現場設備の視察と意見交換により以下を確認した。

#### (1) Taabo、Kossou、Yamoussoukro、Bouake 各地点の位置関係

Taabo - Kossou - Bouake2 間新設送電線は、この区間の既設送電線にほぼ沿った形で新設される。図 7.2 に 3ヶ所の既設変電所、既設送電線ルート、新設 Yamoussoukro2 変電所と既設送電線ルートからの電源線分岐ルート、Bouake3 変電所建設候補地点の位置関係を示す。



図 7.2 Taabo、Kossou、Yamoussoukro、Bouake2 各変電所の地理的關係

## (2) 225kV 新設送電線ルート・周囲状況

225kV 新設送電線は既設 225kV 送電線に沿って建設する計画であるが、送電線が通過するほとんどの地域は図 7.3 に示すような高木がまばらにある草地・低木地・プランテーション地のようなものである。高低差はあまりないようであるが、低い土地は湿地の可能性もある。既設送電線の一部は基幹道路に沿って建設されており、道路近くに点在する集落の近隣あるいは上空を通過している。

既設送電線の線下は定期的に伐採しているようであり、Google Map 上でも送電線通過地帯がはっきりと確認できる状況である。送電線との離隔確保が必要な高木はまばらであるため、定期的伐採で問題無いと考えられる。

既設送電線の鉄塔建設間隔（スパン）は 400m から最大 500m となっており、90kV 送電線が併行しているところでは、送電線間を 30m 離している。225kV 送電線 2 回線と 90kV 送電線 1 回線が併設されると線下幅が 60m 以上となるため、集落周辺では線下の耕作地使用許可など何らかの配慮が必要になると思われる。

図 7.4 に示すように、既設送電線は一部集落の家屋上を通過（住民の不法占使用）している所もあったが、こういった地点は集落を回避・迂回するルートを選定する計画としている。

また、既設変電所および新設予定地への送電線の引込については、極力市街地を避ける計画としている。





図 7.3 既設送電線の線下状況



図 7.4 集落周辺の送電線通過状況

### (3) 架空送電設備（Taabo-Kossou-Bouake 間）

Taabo-Kossou-Bouake 間の 225kV 送電鉄塔は、主に 1 回線の烏帽子型鉄塔であり、また、90kV 送電鉄塔は主に四角鉄塔で、電線は縦の三角配列であった（鉄塔を中心に左に 1 相、右に 2 相、またはその逆）。

劣化した鉄塔は塗装を施しており、特に沿岸部は劣化の進行が著しいため、しっかり塗装を施している模様である。ただし、送電線路の停止ができない箇所は作業ができないため、鉄塔下部のみ塗装しているところも見られた。

鉄塔の昇降設備については、ステップボルトの他はない代わりに、鉄塔支柱材 4 脚中、1 脚に細長いプレートが付いていた。その他、鉄塔昇降の墜落防止装置等は見られなかった。

懸垂がいしのかさ部はガラス製であり、採用している理由は損傷が分かりやすいためとのこ

とである。

既設送電線の線下は定期的に伐採しているようであり、送電線との離隔確保が必要な背の高い樹木はまばらであった。

#### (4) 225kV 新設変電所建設候補地点

##### 1) Bouake3 変電所

Bouake3 変電所は、元々の計画では、Kossou – Bouake2 間に新設する送電線の直下に建設する計画であったが、現地コンサルタントの見解では、既設送電線と並行する予定の新設送電線ルートには適地が見つからなかったため、代替案として、既設の 225kV Bouake – Ferke 間の送電線直下に建設する候補地点（約 5ha）を選定したとのことである。

なお、この案は、中国が建設する Bouake – Ferke 間送電線のループ化が先に竣工し、既設 Bouake2 – Ferke 間送電線の長期停止ができることが工事実施の条件となる。

図 7.5 に Bouake2 – Ferke 間送電線、既設 Bouake2 と新設 Bouake3 の位置関係を示し、図 7.6 に Bouake3 建設候補地点の状況を示す。



画像©2019Digital Globe, CNES/Airbus, 地図データ©2019Google

図 7.5 既設 Bouake2 と Bouake3 の位置関係



図 7.6 Bouake3 変電所建設候補地点

##### 2) Yamoussoukro2 変電所

Yamoussoukro2 変電所は、Taabo – Kossou 間の送電線に接続するが、ヤムスクロへの配電供給のやりやすさと、Yamoussoukro2 変電所に内陸部の給電指令所と配電系統制御所を設置し、内陸部の拠点電力センターとする計画があることから、ヤムスクロ市街地に比較的近くまとまった用地面積が確保可能な適地として、この地点が選定されたようである。

新設 Taabo – Kossou 間送電線から、 $\pi$  分岐で約 10km 程度変電所まで送電線を新設する必要があるが、標準の 1 回線送電線を 2 ルートで建設するより、2 回線鉄塔（垂直配列）で建設する方がコスト・建設の容易性から有利となることを提案した。

図 7.7 に新設送電線ルートと新設 Yamoussoukro2 変電所建設候補地点の位置関係を示す。



図 7.7 Yamoussoukro2 変電所建設候補地点

変電所建設候補地点は、ヤムスクロ市北西部の基幹道路に面し、図 7.8 の写真のように、低木・草地の広大な土地で、既に確保済とのことである。なお、この地点の現在ある道路入口に 33/15kV の高圧変電所がある。



図 7.8 Yamoussoukro2 変電所建設候補地点

#### (5) 90kV 既設変電所との連系計画について

現行計画では、新設の2変電所とも 90kV に降圧する変圧器を設置し、既設の 90kV 変電所 (Bouake1 および Yamoussoukro1) に送電線を新設し連系することになっている。

この計画については、現在、地元コンサルタントに委託されている現地調査・概略設計で、既設変電所と接続する市街地を通る 90kV 送電線の建設は困難であり、既設変電所も重負荷になるので、新設変電所から一気に 33kV (周辺地域供給用)、15kV (市街地供給用) に降圧する案が有利との検討結果を CI-ENERGIES に提案しており、CI-ENERGIES も 90kV 関連の計画はキャンセルする意向であることを確認した。

参考に、図 7.9 に 90kV Yamoussoukro1 変電所の設備状況を示す。比較的大きな空スペースがあり用地拡張も可能なように思われることから、ここに 225kV 変電所を併設する案も考えられるが、既設 90kV 送電線に併設して 225kV 送電線を建設する場合の用地確保の困難性、電力センター化構想で広大な用地確保が必要で、それを拡張で確保するのは困難との判断で、現行案になったようである。





図 7.9 Yamoussoukro1 変電所の設備状況

(6) 225kV 新設送電線の接続変電所の状況

本プロジェクトには、新設送電線の既設変電所への接続が含まれることから、接続が可能な状況であるか、引込（引出）用鉄塔、開閉設備（遮断器・断路器・計器用変成器・避雷器）、母線、制御・保護装置収納建屋などの設置位置、スペース等について確認した。

1) Taabo 変電所

Taabo 変電所は、210MW の水力発電設備（1979 年建設）を有し、ここで発電した電力を 225kV に昇圧し送電する機能を持つとともに、中央幹線の Kossou と 1 回線連系、西部の Soubre と 2 回線連系し内陸部の 225kV ループ系統を構成、また、南部の Abobo との 2 回線連系、Yopougon2 との 1 回線連系により 225kV アビジャンループに連系する極めて重要な変電所である。図 7.10 にターボ湖（貯水池）側から見た Taabo 変電所の全景、図 7.11 に発電所と変電所の位置関係を示す。



図 7.10 Taabo 変電所の全景



図 7.11 Taabo 発電所と変電所

Taabo 変電所については、Kossou 向け送電線を引出すための母線の延長工事、開閉設備と関連する制御・保護装置の設置工事などが必要となる。

この内母線については、既に将来新設される送電線の引出が可能なよう母線が延長されており、開閉設備を設置するスペースもある。

ただし、開閉設備位置は Soubre 方面の送電線が引き出されている側にあり、Kossou 方面の既設送電線とは反対側に引出すことになる。現地コンサルタントの計画では、一旦 225kV 地中ケーブルで、Soubre 方面側で既設鉄塔方面に方向を変えやすい位置に第 1 鉄塔を建設し、そこから Kossou 側に向かう設計案になっているようである。なお、225kV 地中ケーブルについては、アビジャンの 90kV 変電所で採用 (90kV 運用) しているとのことである。

図 7.12 に延長済の母線と開閉設備設置スペースを示し、図 7.13 に第 1 鉄塔建設予定地と第 2 鉄塔建設予定地の状況を示す。



図 7.12 延長済の母線 (左) と開閉設備設置スペース (右)



図 7.13 送電線第 1 鉄塔建設地点（左）と排水路を隔てた対岸第 2 鉄塔位置

また、制御・保護装置収納建屋には、図 7.14 に示すように、既に 1 回線分の装置がおけるスペースを確保済である。

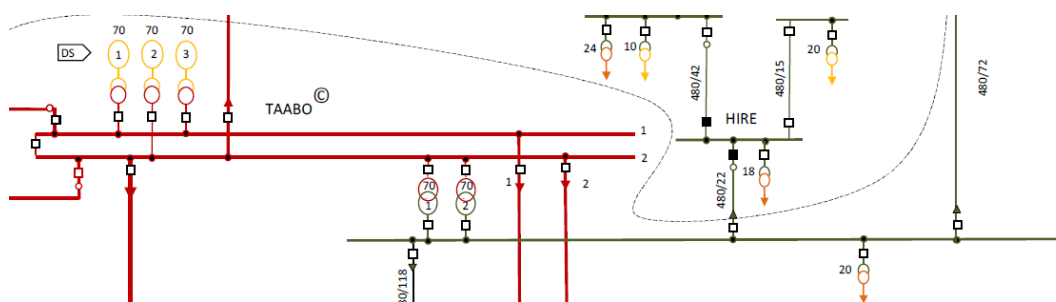
なお、Taabo 変電所は新たな制御装置を導入する予定であり、また、OPGW を使った電流差動リレー用の通信端末の設置も工事範囲になる可能性が高いことから、詳細の確認が必要となる。

こういった状況と 225kV 地中ケーブル工事が追加になるといったことはあるが、母線延伸工事が不要無きこと、最近 Soubre 向け送電線の引出し工事（中国の融資）が行われている実績を考慮すると、重要変電所ではあるものの、他変電所に比べ、新設送電線引出し工事实施上の課題は少ないと考えられる。



図 7.14 制御・保護装置  
収納建屋の状況

図 7.15 に Taabo 変電所の結線図を示す。



出所：CIE の系統図

図 7.15 Taabo 変電所の結線図

## 2) Kossou 変電所（発電所変電設備）

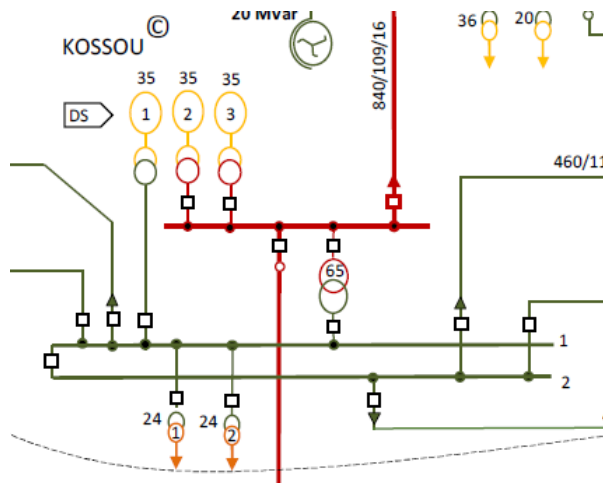
Kossou 変電所は、174MW の水力発電設備（1974 年建設）を有し、ここで発電した電力を 225kV に昇圧し送電する機能と中央幹線の 90kV 系統の電源変電所としての機能を持つ。



画像©2019Digital Globe, CNES/ Airbus, 地図データ©2019Google

図 7.16 Kossou 発電所と変電所

図 7.17 に Kossou 変電所の結線図を示す。



出所：CIE の系統図

図 7.17 Kossou 変電所の結線図

Kossou では、Taabo と新設の Yamoussoukro2 向けの送電線の引出と開閉設備の設置、母線の延長、開閉設備の設置に伴う制御・保護システムの工事が必要となる。

Kossouha の 225kV 母線は、図 7.17 に示すように単母線であり、母線の延長工事には長期間母線を停止しないような施工上の工夫が必要となる。今回の調査で、世銀の融資が決定し先行して実施される 225/90kV の変圧器増設工事で、どこまで母線を延長するか確認したところ、送



電線引出し用母線を含め延長工事が行われることが確認できたことから、母線延長工事は対象外となった。

開閉設備の設置スペースについては、図 7.18 に示すように確保可能と考えられるが、Yamoussoukro2 向けの新設送電線の第 1 鉄塔の建設位置については、変電所敷地境界から排水路側への急な傾斜値に建設せざるを得ず、また、発電所側からの既設送電線の下を一旦通して、排水路対岸側に立ち上げる工事となり、設計・施工上の工夫が必要となる。

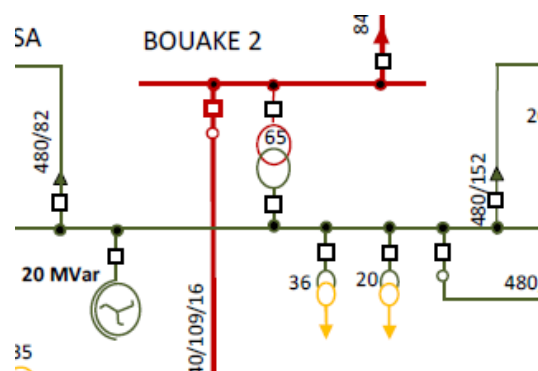
また、制御・保護装置収納建屋の設置スペースの確保も可能である。



図 7.18 開閉設備設置スペース（左が Yamoussoukro2 方面、右が Taabo 方面）

### 3) Bouake2 変電所

Bouake2 変電所は、ブアケの市街地の南の外れにあり、北東側隣接地は広大な墓地で北西側は住宅地が広がっている。Bouake2 はブアケの配電供給と約 100km 東にある Serebou および北西約 40km にある Marabadiassa に 90kV 送電線 1 回線で送電している配電機能を持った送電用変電所である。図 7.19 に Bouake2 変電所の結線を示す。



出所：CIE の系統図

図 7.19 Bouake2 変電所の結線図

Kossou からの新設送電線の引込は、図 7.20 に示す変電所の南東側に出ている Kossou からの既設送電線と Ferke 向けの既設送電線の引込ルートからとなり、変電所南東側は送電線 3 回線が並ぶ巾広いライト・オブ・ウェイとなるが、建設は可能である。



しかしながら、第1鉄塔から架線で開閉設備と接続することは困難であることから、一旦225kV 地中ケーブルに接続し、構内に引き込むことになる。開閉設備も Kossou と Ferke 向けの開閉設備の中間に、ギリギリ設置可能なスペースがあることから、別位置に母線・開閉設備を設置するような大掛かりな工事は必要無いと考えられる。(図 7.21)



画像©2019Digital Globe, CNES/ Airbus, 地図データ©2019Google

図 7.20 Bouake2 変電所の全景



図 7.21 既設送電線の引込状況

Bouake2 変電所は、現在、中国が融資している Soubre 方面への 225kV 送電線の引出しのための開閉設備、母線延長、第1鉄塔の基礎工事、制御・保護装置収納建屋の建築工事（いずれも地元業者が施工）が行われている。(図 7.22)

なお、こういった状況から、Soubre 方面開閉設備側には開閉設備の設置スペースはあまりなく、また、Soubre 方面の送電鉄塔建設以外の送電線ルートも確保困難な状況にある。



図 7.22 Soubre 方面送電線引出し工事の状況

#### 7-1-4 候補案件への本邦技術適用の提案（その 1：低損失電線）

CI-ENERGIES との打合せで、本プロジェクトに適用可能な日本の優れた技術として低損失電線を提案した。中央幹線は送電線新設後、すぐに重潮流になることが想定されることから、低損失電線の適用による経済的メリットが十分期待できる技術として、想定潮流での経済性評価も行った。

低損失電線については、コートジボワール側も強い関心を持っており、海外の大手電線メーカー（Nexans）からも同様の提案を受けているとのことであるため、コートジボワール側からの詳細データの提出要請と、提案のあった海外電線メーカー製品との比較検討を行った提案書を提出した。提案書の内容は下記のとおりである。

##### (1) 低損失電線適用の目的

コートジボワールで計画されている 225kV 送電線の新設プロジェクトに、標準的に使われている電線（高力アルミ合金撚線：AAAC）と比較し抵抗値が小さい電線（低損失鋼心アルミ撚線：LL-ACSR）を適用することにより、寿命期間中の経済的効果・CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

##### (2) 適用にあたっての評価

標準としている AAAC570-AL4 を比較の基準とし、この電線の送電容量が通電でき、鉄塔設計に大きく影響する電線外径がこの電線と同じ LL-ACSR および高力アルミ合金撚線で低損失な電線（商品名 AeroZ）を選定し、物理的特性、施工性、経済性について比較する。

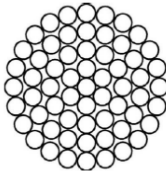
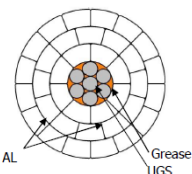
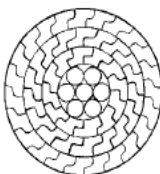
##### 1) 選定条件

- ・運用上の常時通電容量：840A
- ・電線外径：31.1mm

##### 2) 形状・構造上の比較

- ・選定条件に合う電線をメーカー・カタログから選定し、通電容量と形状・構造を比較したものを表 7.3 「選定した電線の通電容量および形状・構造比較」に示す。
- ・LL-ACSR の通電容量は基準電線の 10%程度大きくなり、最適なサイズの選定とは言えないが、現在のところ諸データが入手可能なサイズとして比較対象とした。

表 7.3 選定した電線の通電容量および形状・構造比較<sup>1</sup>

Conductor	AAAC 570-AL4	LL-ACSR/UGS	AéroZ® 648-2Z
Continuous Operating Current (A)	<b>736 at 75°C</b> <b>922 at 90°C</b>	<b>815 at 75°C</b> <b>1018 at 90°C</b>	<b>778 at 75°C</b> <b>975 at 90°C</b>
Allowable short-time operating current (total 400 hours) (A)	<b>1025 at 100°C</b>	<b>1316 at 120°C</b>	<b>1084 at 120°C</b>
Conductor Diameter (mm)	<b>31.1</b>	<b>31.1</b>	<b>31.1</b>
Section			
Structure (mm-Nos.)	AL:3. 45-24, 18, 12, 6, 1	AL (TW) : 4. 80-16, 4. 7-12, 8 Steel (UGS) :3. 1-7	AL (Z) :3. 45-24, 18 AL (Round) :3. 45-12, 6, 1
Gross Section (mm <sup>2</sup> )	Al:570.2	Al:636.6 Steel:52.84	Al:648.38

出所：JICA 調査団が作成

### 3) 物理的特性の比較および評価

- ・物理的特性の比較を表 7.4 「選定した電線の物理的特性比較」に示す。
- ・重量は基準電線に比べ LL-ACSR で 39% 重くなるが、この重量増による鉄塔強度設計への影響 (400m の鉄塔間距離 (スパン) を想定) した場合大きく設計を変更するものではなく、部材強度の増に伴う 1~2% 程度のコスト増に抑えられると想定した。
- ・また、重量増による弛度への影響は、400m スパンで基準電線の 12m に比べ 14m と大きくなる。
- ・リアクタンスは、送電線サイズおよび敷設形状で決まるが、ほぼ同じ設計となることから同一とした。

<sup>1</sup> Condition for Calculation of Temperature at Current Capacity: [Ambient Temperature] 40 °C [Wind Velocity] 0.5 m/s [Wind Direction] 45° [Solar radiation] 0.1 W/cm<sup>2</sup> [Absorptivity] 0.5 [Emissivity] 0.5 [Calculation method of current] JCS0374-2003

表 7.4 選定した電線の物理的特性比較

Conductor	AAAC 570-AL4	LL-ACSR/UGS	AéroZ® 648-2Z
Approximate Weight with grease (kg/km)	1576 (100%)	2187 (139%)	1836 (116%)
Approximate Weight without grease (kg/km)	1576 (100%)	2177 (138%)	1803 (114%)
Minimum Breaking Strength (kN)	185	186	206
Modulus of Elasticity (GPa)	54	73	54
Coefficient Linear Expansion ( $\times 10^{-6}$ )	23.0	20.5	23.0
Sag and Tension <sup>1</sup> (m)	12.129 (25485 N)	14.055 (30519 N)	12.780 (26960 N)
D.C. Resistance at 20°C ( $\Omega$ /km)	0.0585 (100%)	0.0455 (78%)	0.0521 (89%)
Reactance ( $\Omega$ /km)	0.4	0.4	0.4

出所：JICA 調査団が作成

#### 4) 施工性

- LL-ACSR は圧縮接続部が鋼心とアルミの2箇所あるが、工事費増および施工技術上の影響は小さく、また、圧縮の必要が無い懸垂鉄塔の多いルートでは影響は極めて小さい。なお、AeroZ については施工性の詳細は把握できていないが、基準電線と大きな差はないと考えられる。

#### 5) 経済性（送電線工事費）

- 電線コストは、基準電線に比べ LL-ACSR は約2倍、AeroZ は1.2～1.4倍（推定）と高くなる。
- 送電線工事費は、LL-ACSR を適用した場合、鉄塔資材代・電線コスト・施工費で増となるが、全体工事費では10%程度のコスト増となると想定した。AeroZ を適用した場合は、3%程度の増になると想定される。
- LL-ACSR の電線地上高の低下量（2m）が設計上許容できない場合は、電線を引っ張り上げる対策で鉄塔を若干強化する必要があるが、全体工事費はさらに1%ほど上がる可能性があるが、鉄塔地上高の制約条件、標準の鉄塔設計強度の詳細データ・裕度などの考え方が明らかでないため、この点については、今回の評価では考慮していない。
- また、今回比較対象とした LL-ACSR の送電容量は840Aより10%ほど大きくなっていることから、必要な送電容量に合わせた最適設計により外径・重量の低減が可能であり、これによりコスト・鉄塔設計への影響も小さくなるが、今回の検討ではこの点については考慮していない。

#### 6) 経済性（電力損失低減効果）

<sup>1</sup> 20% Every Day Stress; AAAC570: 840A@75°C, LL-ACSR/UGS: 840A@70.2°C, Aero-Z®: 840A@72.4°C, no wind

- ・LL-ACSR は基準電線に比べ電気抵抗が 22%小さいため、損失低減効果が大きい。AeroZ も基準電線に比べ電気抵抗が 11%小さいため損失低減効果が期待できる。
- ・通常の運用状態<sup>\*1</sup>を想定した損失低減効果とそれを発電量の抑制に伴う経済効果に換算<sup>\*2</sup>した結果を、表 7.5 「選定した電線の損失低減効果とそれに伴う発電量抑制の経済的効果」に示す。

\*1：通常運用とは、2回線送電線の1回線が事故で停止した場合に、残りの1回線でその送電線の通電容量（840A）の110%を短時間通電できるよう、常時は負荷率55%通電とし、力率95%で1年間（8760時間）連続して運用するケースを指す。この運用時における損失低減効果は次式の通り定義される。

$$\text{通常運用における損失低減効果（年間電力損失量の差）[kWh/year]} \\ = (\text{通常運用時の電流 [A]})^2 \times (\text{電線の電気抵抗の差 } [\Omega/\text{km}]) \times (\text{送電線の亘長 [km]}) \times 8760 [\text{hour}]$$

$$\text{通常運用時の電流 [A]} = (\text{通電容量 [A]}) \times (\text{負荷率 } 50\%) \times (\text{短時間許容 } 110\%) \\ \text{電線の電気抵抗の差 } [\Omega/\text{km}]: 0.0130 (\text{AAAC } 570\text{-AL4 対 LL-ACSR/UGS}) \quad 0.0064 \\ (\text{AAAC } 570\text{-AL4 対 AéroZ}^{\circledR} \text{ } 648\text{-2Z})$$

\*2：発電量の抑制に伴う経済効果の換算の発電単価は 50FCFA/kWh とした。

表 7.5 選定した電線の損失低減効果とそれに伴う発電量抑制の経済的効果

Conductor	AAAC 570-AL4	LL-ACSR/UGS	AéroZ <sup>®</sup> 648-2Z
通常運用における損失低減効果 (kWh/100km・year)	(基準電線)	-2431x1000	-1197x1000
通常運用における発電量抑制の経済的効果 (m FCFA)	(基準電線)	-121.6	-59.9

### (3) 低損失電線 LL-ACSR を Taabo-Kossou-Bouake 間の新設送電線に適用した場合のメリット

①Taabo-Kossou-Bouake 間に新設する送電線に LL-ACSR を適用した場合、送電に伴う電力損失の大幅な低減が期待でき、それに伴う経済的効果および CO<sub>2</sub> 排出削減効果がある。表 7.6 に 標準電線 AAAC を適用した場合を基準として、前述の LL-ACSR を適用した場合の各種効果の優位性を示す。なお、コートジボワールの既設送電線運用状況に応じて、基準とする通電容量は以下の通りとし、LL-ACSR については表 7.3 ならびに表 7.4 に示す諸元を適用する。

- ・ Taabo-Kossou 間：630A（AAAC366 の許容電流）
- ・ Kossou-Bouake2 間：840A（AAAC570 の許容電流）

また、プロジェクトコストに基づき、Taabo-Kossou-Bouake 区間（240km）の送電線建設コストを以下のように想定している。

- ・ AAAC（基準）の場合：33.65 Billion FCFA
- ・ LL-ACSR の場合：36.81 Billion FCFA（電線コスト 2 倍、電線重量増加に伴う支持物コスト増など伴う工事費約 1%増を考慮）

CO<sub>2</sub> 排出削減量については、以下の係数を用いる。

- ・ CO<sub>2</sub> 排出係数：0.474kg・CO<sub>2</sub>/kWh（コンバインドサイクル）

②経済的効果は、図 7.23 のライフサイクルコスト評価に示すように、送電線工事費増分（初期投資額増）は約 15 年で回収でき、それ以降はライフサイクルとしても経済的となる。コートジボワールにおいて、送電設備の寿命を通常、50～60 年間という長さで設計・運用し



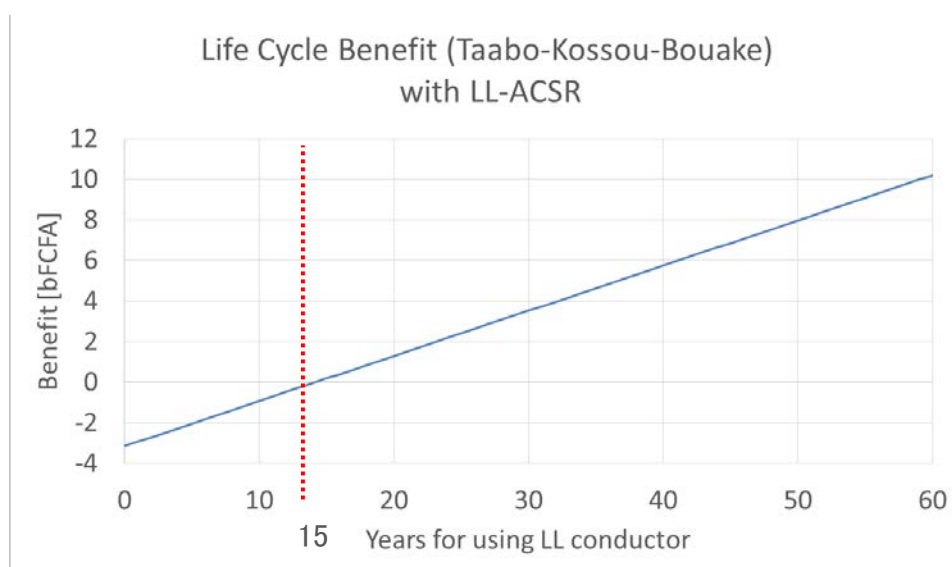
ていることを考慮すると、15年で投資増分を回収した後、35～45年間は経済的なメリットがある。LL-ACSRを適用した場合、投資回収期間は非常に早いとは言えないにせよ、設備を長く使用しているコートジボワールにおいては電力損失低減効果が中長期的なコスト低減に寄与すると考えられる。

- ③鋼心アルミ撚線（ACSR）は引張強度が大きい鋼心に荷重を分担しているため、これを採用することにより、アルミ線の素線切れなどの損傷が生じても断線になりにくく、長期間安定して使用できる技術的メリットがある。

表 7.6 Taabo-Kossou-Bouake 間の新設送電線に低損失電線を適用した場合のメリット

送電線	亘長 (km)	電力損失 (kWh/year)	経済的効果 (Md FCFA/year)	CO <sub>2</sub> 排出削減効果 (kg・CO <sub>2</sub> /year)
Taabo - Kossou	130	-1777x1000	-88.87	-842x1000
Kossou-Bouake2	110	-2674x1000	-133.69	-1267x1000
Total	240	-4451x1000	-222.56	-2109x1000

出所：JICA 調査団が作成



出所：JICA 調査団が作成

図 7.23 ライフサイクルでの経済効果

#### (4) 想定潮流における経済効果

実運用状態に近い潮流に対する損失低減効果を、損失係数<sup>1</sup>を用い算定した。

なお、年間の潮流データ時間変化は入手できなかったことから、年間の潮流レベルと時間は、下表 7.7 の 2018 年の負荷変動データを参考にした。

<sup>1</sup> 損失係数：1年間の潮流レベルごとの時間を、収集・蓄積データから分類あるいはデータ蓄積がされていない場合は負荷変動データなどから推定し設定した係数

表 7.7 ピークおよびオフピークの潮流実績

単位:MW

	運用容量	ピーク(2018/3/3 木曜日)				オフピーク(2018/8/6 月曜日)			
		8 am	10 am	19 pm	21 pm	8 am	10 am	19 pm	21 pm
Taabo - Kossou	240	237	217	263	271	207	195	192	194
	対定格(%)	98.8	90.4	109.6	112.9	86.2	81.2	80.0	80.8
Kossou - bouake2	320	190	171	192	197	149	150	160	135
	対定格(%)	59.4	53.4	60.0	61.6	46.6	46.9	50.0	42.2
Bouake2 - Ferke	320	190	165	180	158	147	149	147	109
	対定格(%)	59.4	51.6	56.2	49.4	45.9	46.6	45.9	34.0

これをみると、Taabo - Kossou 間送電線は、ピーク時には271MW(112.9%)と過負荷状態で、日負荷変動率（日負荷変動/ピーク負荷）も20%と低い状態になっている。また、オフピーク時でも定格の80%以上が流れている高負荷状態となっており、ピーク・オフピークの変動率は24%と変動が小さく、日負荷変動は7%と非常に小さくなっている。

Kossou - Bouake2 間送電線は、ピーク時は197MW(62%)であるが、日負荷変動率（最低負荷・ピーク負荷）は13%と低く、オフピーク時は、160MW でピーク・オフピークの変動率は19%、日負荷変動は17%変動と小さくなっている。

送電線新設後の潮流想定は、N-1 運用ルールで定格容量の50%で運用されるとすると、Taabo - Kossou 間送電線については、現在、重潮流運用を行っていること、今後の中央幹線需要が大きく伸びることを考えると、運転開始後から2030年まで、表7.7を上回る年間潮流で運用される可能性が高い。

表 7.8 送電線に流れる年間潮流の想定 (Taabo-Kossou)

通常運用の潮流に対する割合	2022-2030年	2031年以降
	時間	時間
1.00	4,380(50%)	6,132(70%)
0.90	2,628(30%)	2,628(30%)
0.80	1,752(20%)	
損失係数	0.871	0.943

出所：JICA 調査団が作成

損失係数を算定すると、表7.8に示す通り、

それぞれ  $2025-2030$  年の年間損失係数 $= (1^2 \times 0.5) + (0.9^2 \times 0.3) + (0.8^2 \times 0.2) = 0.871$  および

$2031$  年以降の年間損失係数 $= (1^2 \times 0.7) + (0.9^2 \times 0.3) = 0.943$

となり Taabo - Kossou 間送電線の実際の損失低減効果は、これまでの検討の87%~94%以上と想定される。

Kossou - Bouake2 間送電線については、調査団が実施した2030年までの簡易潮流計算で、2022年のピーク潮流で233MW(73%)、2030年で352MW(110%)となることから、表7.9のように各期間における年間潮流を想定した。また、各期間の平均損失係数を想定した結果についても表7.9に示す。

表 7.9 送電線に流れる年間潮流の想定 (Kossou-Bouake2)

通常運用の潮流に対する 割合	2022-2024 年	2025-2030 年	2031 年以降
	時間	時間	時間
1.00			4,380(50%)
0.90		1,752 (20%)	4,380(50%)
0.80		3,504 (40%)	
0.70	876(10%)	3,504 (40%)	
0.60	4,380(50%)		
0.50	3,504(40%)		
損失係数	0.33	0.614	0.905

出所：JICA 調査団が作成

なお、簡易な潮流計算では、ピーク時における潮流は潮流制御を行わないと定格電流を超える状況であることから、一般的な損失係数の 0.3-0.4 よりかなり高くなっている。

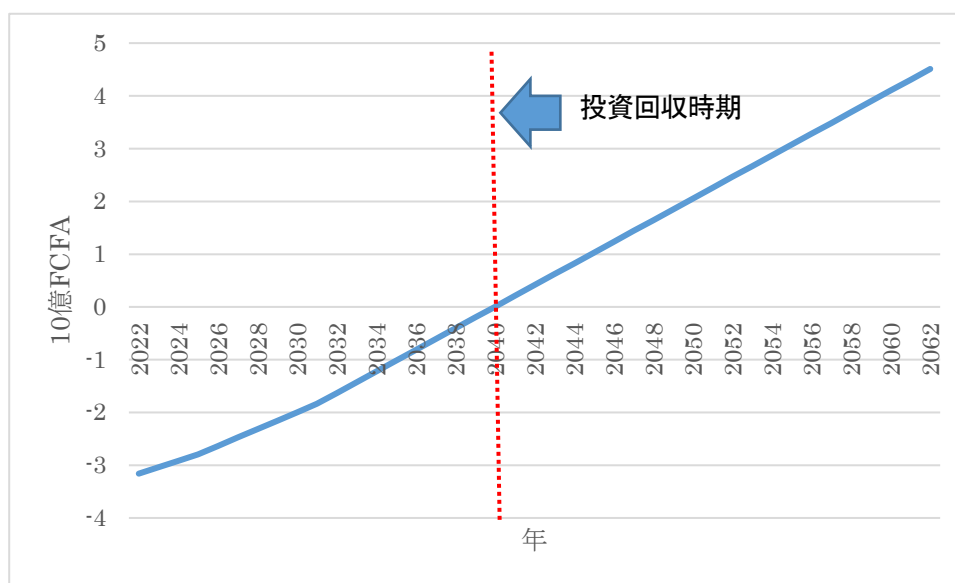
これらの損失係数想定から、表 7.10 のとおり電力損失を算定し、経済効果を推定すると図 7.24 のようになり、送電線工事費増分（初期投資額増）は約 18 年で回収できることになる。

表 7.10 Taabo-Kossou-Bouake 間の低損失電線を適用した場合のメリット（想定潮流）

送電線	巨長 (km)	適用損失係 数 (kWh/year)	電力損失 (kWh/year)		
			発生期間		
			2022 年~2024 年	2025 年~2030 年	2031 年以降
Taabo - Kossou	130	0.871~ 0.943	-1548 × 1000	-1548 × 1000	-1676 × 1000
Kossou- Bouake2	110	0.33~ 0.905	-882 × 1000	-1642 × 1000	-2420 × 1000
Total	240		-2430 × 1000	-3190 × 1000	-4096 × 1000

出所：表 7.6 の電力損失および表 7.8 および表 7.9 の損失係数をもとに JICA 調査団が作成





出所：JICA 調査団が作成

図 7.24 想定される損失係数を考慮したライフサイクルでの経済効果

#### 7-1-5 候補案件に関連した本邦技術の適用提案（その 2：増容量電線）

Taabo - Kossou 間の 225kV 既設送電線は、送電容量（電流値）が現在の標準（840A）に比べ 75%（630A）しかなく、新旧送電線の 2 回線運用にあたっては、既設送電線の容量により制約を受けることから、既設送電鉄塔を建替え増容量化するまでは、送電線を新設する効果が小さくなる。既設送電鉄塔が経年劣化し建て替えが必要となるまでは、30 年程あると想定されることから、新設送電線を現在の標準容量で建設する場合は、送電線利用率を上げるとともに、損失低減効果を高めるため、早期に既設送電線を増容量化するか、あるいは、送電線事故時に短時間で潮流制御が可能な運用システムを導入するかの対応が必要になると考えられる。

この内、既設送電線の増容量化にあたっては、新設送電線を 2 回線鉄塔で建設（電線は 1 回線のみ架線）し、既設送電線の経年劣化に合わせ 2 回線目を架線する案と新設送電線の運転開始後、既設送電線の電線のみ増容量電線に張り替える案が考えられるが、経済性から増容量電線への張替えが有利である。

このため、増容量電線適用の可能性について概略検討を行った。

検討にあたっては、増容量電線の内、**インバ心超耐熱アルミ合金系より線**（以下、インバ電線<sup>1</sup>）は、送電鉄塔の荷重に影響する電線の外径を大きくすることなく、電流量を増やすことが可能な電線であることから、ここでは、インバ電線の 1 つであるアルミ覆インバ心超耐熱アルミ合金より線（Super Thermal-resistant Aluminum alloy Conductor Invar Reinforced、以下 ZTACIR）を評価の対象としている。

概略検討の結果は、1 回線停止時（最大常時通電容量）に 3m 程度の弛度の増加が許容できるのであれば、電線単価は標準電線に比べ 4 倍程度と高いが、鉄塔を建替えずに増容量化が可能な実現性が高い案であると判断される。なお、弛度については、鉄塔強度に関するデータが入手できれば、弛度の増加を低減できる可能性がある。以下に検討結果を示す。

<sup>1</sup> インバ電線とは、アルミ素線に超耐熱アルミ合金線（ZTAI）を採用し電流容量を増加するとともに、鋼心に線膨張の小さいインバ線を使用することにより弛度を抑制化した電線を指す。

(1) 検討条件

現在の標準である AAAC570-AL4 と同等の送電容量が通電でき、鉄塔設計に大きく影響する電線外径が既設送電線の AAAC366-AL4 と同等の外径である、ZTACIR を選定し、物理的特性および経済性について既設送電線と比較した。

(a) 選定条件

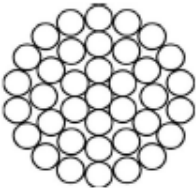
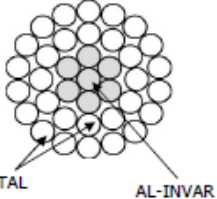
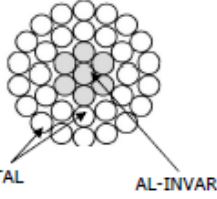
- ・ 運用上の常時通電容量：840A (AAAC570-AL4)
- ・ 電線外径：24.9mm (AAAC366-AL4)

(b) 形状・構造上の比較

選定条件に合う電線をメーカー・カタログから選定し、通電容量と形状・構造を比較したものを表 7.11 に示す。

ZTACIR の通電容量は (運用温度は各線種に依るものとすれば) 基準電線における 840A 以上であり、既設電線の電線外径 24.9mm 以下である。なお、最適なサイズの選定とは言えないが、現在のところ諸データが入手可能なサイズとして比較対象とした。

表 7.11 選定した電線の通電容量および形状・構造比較 (増容量化)<sup>1</sup>

Conductor	AAAC 366-AL4	ZTACIR 240	ZTACIR 160
Continuous Operating Current (A)	564 at 75°C 702 at 90°C	484 at 75°C 1102 at 210°C	376 at 75°C 841 at 210°C
Allowable short-time operating current (total 400 hours) (A)	778 at 100°C	1190 at 240°C	906 at 240°C
Conductor Diameter (mm)	24.9	22.4	18.2
Section			
Structure (mm-Nos.)	AL:3.55-18,12,6,1	ZTAL:3.20-18,12 AL-Invar:3.20-7	ZTAL:2.60-18,12 AL-Invar:2.60-7
Cross Section (mm <sup>2</sup> )	Al:366.2	ZTAl:241.3 AL-Invar:56.29	ZTAl:159.3 AL-Invar:37.16

出所：JICA 調査団が作成

(c) 物理的特性の比較および評価

物理的特性の比較を表 7.12 に示す。重量は基準電線に比べ ZTACIR 240 で 6% 重くなるが、この重量増による既設鉄塔強度への影響 (径間長 400m (鉄塔間距離) を想定) は、鉄塔部材の裕度によっては強度不足が伴う可能性がある。一方、ZTACIR 160 で 30% 軽くなるため、重量に関する既設鉄塔強度への影響はないと考えられる。ただし、引張強度が小さくなるため、基準張力も低下した場合、弛度への影響は、400m スパンで基準電線の約 13m に比べ約 16m となる。

<sup>1</sup> Condition for Calculation of Temperature at Current Capacity: [Ambient Temperature] 40 °C [Wind Velocity] 0.5 m/s [Wind Direction] 45° [Solar radiation] 0.1 W/cm<sup>2</sup> [Absorptivity] 0.5 [Emissivity] 0.5 [Calculation method of current] JCS0374-2003

表 7.12 選定した電線の物理的特性比較

Conductor	AAAC 366-AL4	ZTACIR 240	ZTACIR 160
Weight (kg/km)	1008.9 (100%)	1071 (106%)	707 (70%)
Minimum Breaking Strength (kN)	115	92	62
Modulus of Elasticity (GPa)	57	79	79
Coefficient Linear Expansion ( $\times 10^{-6}$ )	23.0	16.0	16.0
Sag and Tension <sup>1</sup> (m) * 20% Every Day Stress	12.693 (15590 N)	15.567 (13493 N)	16.326 (8489 N)
D.C. Resistance at 20°C ( $\Omega$ /km)	0.0908 (100%)	0.1160 (128%)	0.1750 (193%)

出所：JICA 調査団が作成

#### (d) 経済性（送電線工事費）

電線資材代は、基準電線に比べ ZTACIR は同径の場合で約 4 倍（推定）であり、径が小さくなる分は若干安価になると想定されるが基準電線よりは高くなる。送電線工事費は、ZTACIR を適用した場合、主に資材代が増となるが、電線張替の全体工事費としては標準電線による建替（既設除却を含む）の全体工事費に対して約 30%程度になると見込まれる。

ZTACIR の電線地上高の垂下量（約 3m）が設計上許容できない場合は、電線の支持点を上げるために鉄塔高を若干高くすることや懸垂鉄塔を耐張化することが必要であり、全体工事費はさらに増加する可能性があるが、鉄塔地上高の制約条件、標準の鉄塔設計強度の詳細データ・裕度などの考え方が明らかでないため、この点については、今回の評価では考慮していない。

また、連続許容温度 210°Cにおいて、今回比較対象とした ZTACIR240 の送電容量は AAAC570（840A）よりも 30%ほど大きくなり、ZTACIR160 の送電容量は AAAC570 と同等であることから、コートジボワールにおける運用温度と必要な送電容量に合わせた最適設計により外径・重量の低減が可能であり、これによりコスト・鉄塔設計への影響も小さくなるが、今回の検討ではこの点については考慮していない。

#### 7-1-6 候補案件の概略事業費検討

送電線の詳細ルート、鉄塔基数、設計条件、変電所の結線方式、設計基準、地質データ等が明らかでないため、現時点での概略事業費算定は困難であるが、以下の概略設計想定に基づき概略事業費の算定を行い、CI-ENERGIES の投資額との比較を行った。

##### (1) 送電線の設備概要・仕様

送電線の設備概要と現状の標準と想定される概略仕様を表 7.13 に示す。

<sup>1</sup> 20% Every Day Stress; AAAC570: 840A@75°C, LL-ACSR/UGS: 840A@70.2°C, Aero-Z@: 840A@72.4°C, no wind

表 7.13 送電線設備想定概略仕様

Taabo - Kossou 間送電線			
亘長	130km	Taabo-Yamoussoukro2-Kossou の合計値	
支持物数	325 基	平均スパン 400m で亘長より想定	
回線数	1		
鉄塔	形状	烏帽子	既設鉄塔と同一形状を選定
	基礎	逆 T 型	
電線	導体数	単導体	低損失電線を適用 標準電線と同一径
	種類	LL-ACSR	
	外径	31.1	
架空地線	亜鉛メッキ鋼より線(OPGW)	OPGW の採用方針より選定	
がいし	ガラスタイプ	既設送電線で多く使われていることから選定	
Kossou - Bouake2 間送電線			
亘長	120km	Kossou-Bouake3-Bouake2 の合計値	
支持物数	300 基	平均スパン 400m で亘長より想定	
回線数、鉄塔形状、電線、架空地線、がいしについては Taabo-Kossou 間送電線と同じ			
Yamoussoukro2 への分岐線			
亘長	10km	既設送電線ルートと変電所位置より推定	
支持物数	25 基	平均スパン 400m で亘長より想定	
回線数	2	変電所への 2 回線引込みのため	
鉄塔形状	垂直配列		
電線、架空地線、がいしについては Taabo-Kossou 間送電線と同じ			

(2) 変電所の設備概要・仕様

Yamoussoukro2 変電所、Bouake3 変電所の設備概要と現状の標準と思われる概略仕様を表 7.14 に示す。なお、両変電所共、設備概要・仕様は同一である。

表 7.14 変電設備想定概略仕様

変電所型式		屋外気中絶縁タイプ
送電線引込数		2 回線
母線方式	225kV	2 重主母線 1 ブスタイ
	33kV, 15kV	単母線、1 ブスタイ
225kV/33kV 変圧器	型式	3 相油入絶縁タイプ
	定格	容量: 24MVA、最高使用電圧: 245kV、短絡電流: 40kA, 1S
	電圧調整	OLTC、±1.25%
	数量	2 台
225kV/15kV 変圧器	型式	3 相油入絶縁タイプ
	定格	容量: 36MVA、最高使用電圧: 245kV、短絡電流: 40kA, 1S
	電圧調整	OLTC、±1.25%
	数量	2 台
225kV 遮断器	型式	SF6 ガス遮断器(ライプタンクタイプ)、単相
	定格	電圧: 245kV、電流: 2000A、短絡電流: 40kA, 1S
	数量	7 台(単相 x3x7) 内訳: 送電線2、変圧器4、母線連絡1
225kV 断路器	型式	接地開閉器付き
	定格	電圧: 245kV、電流: 2000A、短絡電流: 40kA, 1S
	数量	14 台
225kVPT (計器用変圧器)	型式	単相タイプ
	定格	変圧比: 1 次: 225/√3、2 次 110/√3、最高使用電圧 245kV
	数量	3 台(単相 x3x3)
225kVCT (計器用変流器)	型式	単相油入絶縁タイプ
	定格	変流比: 800-1600/1A、電流: 2000A
	数量	6 台(単相 x3x6)
225kV 避雷器	型式	酸化亜鉛型
	定格	動作開始電圧: 193kV、連続使用電圧: 154kV、放電電流: 20kA
	数量	2 台(単相 x3x2)
33kV 開閉装置	型式	Metalenclosed Type Switchgears
	定格	電圧 36kV、電流: 1000-2000A、短絡電流: 31.5kA
	数量	1 式 7 回線(フィーダー) x 2
15kV 開閉装置	型式	Metalenclosed Type Switchgears
	定格	電圧 24kV、電流: 1000-2000A、短絡電流: 31.5kA
	数量	1 式 7 回線(フィーダー) x 2
保護装置	型式	IED (通信機能内蔵)
	方式	送電線保護、機器保護、母線保護、配電線保護
	数量	5面、配電線保護は Switchgear に内蔵
制御装置	型式	変電所集中監視制御システム(SCADA への接続可能)
	数量	1 式
AC/DC 設備	構成	所内変圧器 250kVA、充電器、バッテリー、AC/DC 盤
	数量	1 式
母線	型式	アルミパイプ母線

この内、変圧器については、225/33/15kV、60/24/36MVA の3巻線変圧器の適用により、変圧器のコストだけでなく、225kV 変圧器回線の開閉設備の4回線から2回線への削減と225kV 母線長の削減効果もあることから、事業費の概略算定にあたっては、3巻線変圧器を採用した場合についても算定することとする。

### (3) 送電線の変電所への引込工事仕様

既設変電所に送電線を引き込むための、開閉設備（遮断器、断路器、計器用変圧器、計器用変成器、避雷器など）と保護装置の据付工事については、母線の延伸工事は無いことを前提に、仕様は新設変電所機器仕様と同一とする。

### (4) 事業費の概算

#### 1) 資機材・工事費単価の設定

資機材の単価および工事費について、公表されている至近のデータ、メーカー見積もり実績等を基に設定した。（表 7.15）

表 7.15 資機材および工事費単価

送電線資材		
鉄塔(懸垂)	200 万円/基	10 基に平均 3 基の耐張型がある場合を想定
鉄塔(耐張)	500 万円/基	
電線	158 万円/km	低損失電線
がいし(懸垂)	35 万円/基	磁器碍子
がいし(耐張)	200 万円/基	
架空地線	7 万円/km	OPGW
取付金具等	20 万円/基	
送電線工事費		
測量・地質調査	20 万円/基	
基礎工	500 万円/基	
鉄塔組立	100 万円/基	
電線架線	200 万円/基	
変電所主要資機材		
変圧器 225/33kV, 24MVA	7,500 万円/台	OLTC
変圧器 225/15kV, 36MVA	8,400 万円/台	
受電開閉設備 (bay)	4,675 万円/bay	GCB, DS, CVT, CT, LA
母線	8,800 万円/1 式	同様結線方式の物量を推定
配電用開閉設備 (33kV)	10,000 万円/箱	受電、配電線箱等の平均を推定
配電用開閉設備 (15kV)	8,000 万円/箱	
制御・保護装置	2,900 万円/1 式	
AC/DC 設備	2,300 万円/1 式	
変電所工事費	56,900 万円/1 式	制御建屋(19,000 万円含む)

#### 2) 積算条件

現時点では設計データがないことから、設備概略仕様の他に次のような設計条件を設定した。

- ・ 送電鉄塔の平均鉄塔径間は、直線的・平面的な送電ルート選定がされていると思われることから、標準スパンとしている 400m に対し、350m とした。
- ・ また、懸垂鉄塔が多いと想定されることから、耐張鉄塔比率は 20% とした。
- ・ 鉄塔基礎工事は地質が比較的安定しているとの想定から、通常の 70% とした。
- ・ 輸送費、コンサルタント、税金他の必要経費については見込まない。

### 3) 事業費の算定

設定した単価と条件を基に、コンポーネント単位の概算事業費を算定し、マスタープランとの比較および 3 巻線変圧器を採用した場合との比較を表 7.16 に示す。

表 7.16 概算事業費の比較

	マスタープラン	想定費用	* 単位は億円 1CFA=0.2JPY で換算
Taabo-Yamousskro2 間送電線	27.8	32.4	* マスタープランの事業費は、マスタープラン策定時の投資額を、最近のプロジェクト総額の増分比(1.24 倍)で補正 * 送電線工事には変電所の送電線引込に必要な開閉設備の設置工事を含む * 想定費用に資機材輸送費、コンサルタント費は含んでいない
Yamousskro2-Kossou 間送電線	18.5	20.5	
Kossou-Bouake3 間送電線	37.2	44.3	
Bouake3-Bouake2 間送電線	6.1	4.6	
送電線工事合計	89.6	101.7	
Yamoussoukro2 変電所	14.1	17.5	
Bouake3 変電所	14.1	17.5	
変電所工事合計	28.1	35.0	
プロジェクト合計	117.7	136.7	

	マスタープラン	想定費用	3 巻線採用
Taabo-Yamousskro2 間送電線	27.8	32.4	同 左
Yamousskro2-Kossou 間送電線	18.5	20.5	
Kossou-Bouake3 間送電線	37.2	44.3	
Bouake3-Bouake2 間送電線	6.1	4.6	
送電線工事合計	89.6	101.7	
Yamoussoukro2 変電所	14.1	14.8	
Bouake3 変電所	14.1	14.8	
変電所工事合計	28.1	29.6	
プロジェクト合計	117.7	131.3	

#### 7-1-7 候補案件の効果

協力対象候補事業の Taabo - Kossou - Bouake2 間 225kV 1 回線送電線の 신설 (2 回線化) プロジェクトによる便益の主要なものとして、

- ・ 中央幹線の送電容量の増加と北部系統の電圧維持能力が向上することにより、ブルキナファソ・マリへの電力輸出量の確保と増加が可能になること、
- ・ 同様に、北部の大規模太陽光の発電出力を、南部のガス火力発電所の発電抑制に活用できること、
- ・ 中央幹線の 2 回線化により、内陸部ループ系統の信頼度が高まり、送電線事故時などに発生する長時間停電リスクが減少できること、

- ・ また、90kV 送電から 225kV 送電を主とした送電線運用に変えていくことによる送電損失の低減と、適正な電圧・無効電力制御による系統運用が可能となることにより、送電損失と変電所の損失低減が可能になること、
  - ・ ヤムスクロ、ブアケに新設される変電所の配電供給力の増加により、両地区の発展に伴う需要増と、周辺の未電化地域の電化により新たに生み出される需要増への新たな電力供給が可能になること、
  - ・ 送電線に低損失電線を適用することにより、送電線損失が低下し、大きな送電線のライフサイクルコストベネフィットと CO2 排出量削減が期待できること、
- があげられる。

これら便益の財務分析・経済分析については、電力輸出料金、火力発電コスト、電気料金コスト、送電損失などのデータは比較的入手しやすいものの、Yamoussoukro2、Bouake3 の需要予測、託送コストにおける運転・保守費用を含めた送電費・変電費の割合、計画内容変更に伴う最新の事業費、コンサルタント費用・予備費・管理費割合、税金などのデータは入手ができていないことから、現時点での算定は困難である。

今後、財務分析・経済分析の前提条件や便益の定量化の考え方・基礎データなどの収集にあたっては、コートジボワールで世銀が実施している電力セクター支援プロジェクトの審査報告や世銀の経済分析ガイドラインなどを参考に実施することが望まれる。

#### 7-1-8 本案件に関する他ドナーの動向

アフリカ開発銀行（AfDB）は当該案件への関心が高く、本年 11 月に提出されるプロジェクトの内容と環境社会配慮についての CI-ENERGIES の調査報告書を評価後、不十分であれば追加調査を依頼するが、問題なければ執行委員会にかけて融資を決定する予定にしている（来年の第 2 四半期目途）。

AfDB のプロジェクト総融資額想定は、工事費 129M€ にプロジェクト推進経費を入れて 150M€ であり、AfDB が半分を拠出し、残りを他ドナーが拠出する協調融資が望ましいと考えている。また、送電線を先に作って変電所は後という 2 ステップで進める案もあると考えている。

ドイツ復興金融公庫（KfW）は当該案件への関心が高く、CI-ENERGIES との調整も進めている。協調融資の場合、Taabo-Kossou 間の送電線と変電所の新設（ロットとしてみると南側）を選定したい意向であり、AfDB、JICA、KfW 間で調整が必要な点を訴求している。



## 7-2 他の協力対象事業候補の検討

送電増強計画について有償資金協力あるいは無償資金協力候補案件になりうるプロジェクトがあるか検討を行った。

検討は、CI-ENERGIES が設定している表 5.9～5.16 の増強計画の内、既に融資先が決定している優先度の高いプロジェクトを除き、可能性のあると考えられる表 7.17 のプロジェクトについて評価を行った。その結果、現在進行中のプロジェクトあるいは中央幹線の増強ができれば必要性・緊急性が下がる計画となっているもの、また、至近年の候補とするには不確実性が高いものがあり、中央系統案件以外に資金協力案件として適するものは少ないと考えられる。

なお、大アビジャン圏の送電系統増強計画については、至近に無償資金協力案件としての調査が行われていることから、今回確認は行わなかった。

表 7.17 他の協力対象事業候補 投資額の単位は 10 億 FCFA

No	地域	概要	竣工	増強計画	投資額
12	400kV 系統導入	225kV Bingerville S/Sのガーナ側330kV昇圧、コ国側400kV昇圧 330kV Dunkwa - Bingerville 間送電線の新設 400kV Bingerville - Akoupe Zeudji間送電線新設	2019	TR: 330/225kV, 350MVA x 3 400/225/kV, 350MVA x 3 TL: 330kV Dunkwa - Bingerville 245km 400kV Bingerville - Akoupe Zeudji 50km	104.00
28	南東部	225kV Attakro S/Sの新設 225kV Adzope - Attakro間送電線の新設	2020	TR: 225/90kV, 70MVA x 2 TL: Attakro - Adzope 75km	11.71
29		225kV Daoukro S/Sの新設 225kV Serebou - Daoukro - Attakro間送電線の新設	2022	TR: 225/33kV, 60MVA x 2 TL: Serebou - Daoukro 103km Daoukro - Attakro 53km	22.01
31	南東部 ガーナ 国境付近	225kV Abengourou S/Sの新設 225kV Eboue - Abengourou - Daoukro間送電線の 新設	2022	TL: Eboue - Abengourou 170km Abengourou - Daoukro 90km	30.29
37	西部	225kV Toulepleu S/Sの新設 225kV Zagne - Toulepleu間送電線の 新設 90kV Toulepleu - Mine Ity間送電線の 新設 Zagne S/S 225kV, Mine Ity 90kV送電線 引出口増設	2021	TR: 225/90kV, 100MVA x 1, 90/33kV, 20MVA x 2 TL: 225kV Zagne - Toulepleu 165km 90kV Toulepleu - Mine Ity 57km	33.67

出所：CI-ENERGIES の資料を基に JICA 調査団が作成

### (1) 400kV 系統導入第 1 段階プロジェクト (No12)

本プロジェクトは、コートジボワールに 400kV 系統を導入する第 1 段階として、ガーナの Dunkwa と Bingerville を連系する 330kV の送電線(245km)の新設、Bingerville と Akoupe Zeudji 間の 400kV 送電線 (50km) の新設、Bingerville に新たに 330/225kV 変圧器、400/225kV 変圧器を設置する 225kV 既設変電所の昇圧工事がコンポーネントになる。

コートジボワールで初めてとなる 400kV 送電線・変電所の工事となり、協力の意義は大きい。このプロジェクトは最も必要性が高いアビジャン海岸部に 400kV 系統を構築し、225kV 環状網に接続する計画の実現性が高くないと進まない可能性が高く、計画が伸びる可能性が高い。

### (2) 南東部の 225kV 系統構築プロジェクト (No28、No29)

No28 と No29 については、CI-ENERGIES から南東部系統で Adzope - Serebou 間の新設送電線がまだ融資先が決まっていないのでどうかとの提案があった。当該計画は中央幹線の 2 回線化が竣工すれば必要性・緊急性が低くなり、他ドナーの関心が高い中央幹線との同時期の計画であることから魅力の薄い案件であると判断される。

(3) 南東部(ガーナ国境付近)の 225kV 系統構築プロジェクト (No31)

南東部ガーナ国境付近に新設する Eboue から Daoukro までの送電線(260km)と途中の Abengourou の 90kV から 225kV への昇圧工事が含まれる。既に融資先が決定している Adozope までとその先の上記 No28、No29 の送電線ができると、系統信頼度向上と東部地域の供給力増強の観点からの本プロジェクトの必要性は低くなる。

(4) 西部鉱山需要に対応したリベリア国境付近の系統構築プロジェクト (No37)

リベリア国境付近の鉱山需要への対応としての設備増強で、225kV 拠点変電所となる Toulepleu の新設と Zagne からの送電線(165km) 新設が含まれる。鉱山需要対応としての必要性は高いと考えられるが、西部の基幹系統整備の進捗との関係から時期の不確実性があること、この地域はほとんどが中国支援となっていることから、今後の動向の把握が必要となる。

# 第8章

## 本邦技術の適用

## 第8章 本邦技術の適用

### 8-1 本邦技術の紹介

CI-ENERGIES との打合せの中で、コートジボワールで適用が可能と考えられる、本邦の優れた技術として、「低損失電線」、「屋外タイプ GIS」、「低損失アモルファス配電線用変圧器」、「増容量電線」を紹介した。

この内、低損失電線については、コートジボワール側の関心が高く、現地調査から帰国後も詳細情報提供を要請されたため、「第7章協力対象事業候補検討」の「7-1-4 本邦技術適用の提案」にある提案を行った。

屋外タイプ GIS は、図 8.1 のプレゼンテーション資料で提案を行った。今後、アビジャンで建設する変電所の一部に GIS を採用する計画であるとの情報提供があった。

### Gas Insulated Switchgear (GIS) substation

- Foot print of GIS much smaller than conventional air-insulated type substation. By converting the air insulated switchgears to GIS, a large extra space for facility installation will be created.
- Excellent for substation extension projects where available space is limited. such as uprating the system voltage (e.g. from 90kV to 225kV) or adding switchgear bays and/or transformers.
- Out door type GIS with proven track record of no SF6 gas leakage, of sealing technology with low failure rates (as shown in CIGRE WG23).

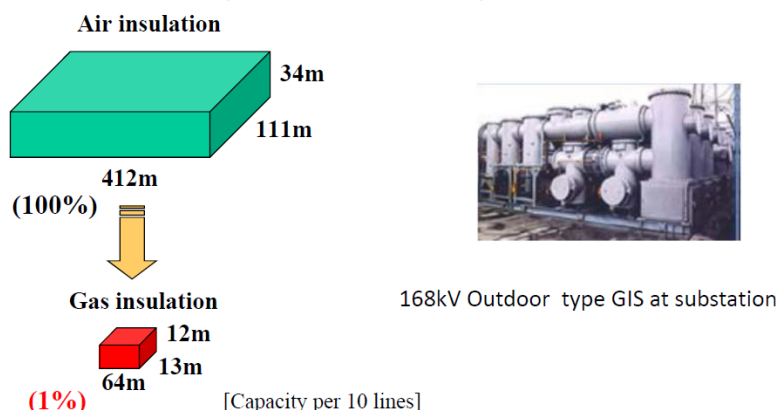


図 8.1 屋外タイプ GIS の適用メリット

低損失アモルファス配電線用変圧器については、図 8.2 のプレゼンテーション資料を基に、今後、アビジャンの配電供給電圧を 15kV から 20kV に変更していく中で必要となる配電線用変圧器の取替え用として、また、地方電化で 33kV 配電供給を拡大していく中での適用を提案した。特に、低損失アモルファス変圧器は、鉄損が通常の変圧器に比べ小さいので、潮流があまり流れない状態で鉄損ロスが発生している地方電化用の配電線にメリットが大きいことを訴求した。

## Low Loss Distribution Transformer (1)

### Amorphous Transformer

- Low hysteresis loss and low eddy current loss.
- Non-load loss 20-30% less than conventional, effective for low load factor distribution system.
- **Contributing to CO2 Emission Reduction.**
- **Cost competitive:  $AMDT=CRGO \times 1.2\sim 1.3$**
- Up to 33kV, 3.167MVA for rated capacity
- Pole-mounted and ground installation types both available.
- Three phase and single phase transformer both available.
- Japan OEM: 2<sup>nd</sup> largest share in the global market.
- Japan OEM has supplied 12 Africa countries with 8,308 AMDTs and 27,998 CRGOs, or 36,306 units in total from 2009 through 2018.
- Reliable after-sales servicing by Service workshop in Italy.



## Low Loss Distribution Transformer (2)

### Advantages with Amorphous Transformer:

Non-Load Loss (NLL) lower than conventional transformer using Cold Rolled Grain Oriented (CRGO) for iron-core.

Rating kVA	CRGO		AMDT		Reduction (%)	
	NLL (W)	LL (W)	NLL (W)	LL (W)	NLL	LL
50	90	1100	38	1095	58%	0%
100	145	1750	65	1745	55%	0%
160	196	2350	104	2341	47%	0%
250	296	3250	158	2870	47%	12%
400	430	4584	212	4357	51%	5%
630	600	6300	346	5800	42%	8%
800	630	8130	372	7080	41%	13%
1000	770	10120	469	7786	39%	23%

図 8.2 低損失アモルファス変圧器の適用メリット

## 8-2 本邦技術適用の提言

### (1) 低損失電線の訴求ポイント

低損失電線については、コートジボワールで計画されている多数の送電線増強プロジェクトに共通する技術であることから、改めて低損失電線適用のメリットについて訴求ポイントを整理した。

コートジボワールでは基幹送電線の標準電線として、日本で標準的に使われている鋼心アルミより線（ACSR）でなく、オールアルミ合金電線（AAAC）を採用しているが、海外では同様にAAACを標準として採用している国が多くある。

この違いは、アルミ電線の落雷や腐食による素線切れ、クレーン接触による損傷などによる断線のリスク、鉄塔の設計条件と送電線全体設計の考え方、調達の容易性、施工の容易性などさまざまな観点から生じていると考えられる。

日本では、引張強度の強い鋼を心線にして断線のリスクを協力軽減するという考えを重視し、古くからACSRを採用してきた。一方、鉄塔の強度設計に大きく影響する電線外径をみると、アルミの断面積で決まる送電容量を同じとすると、AAACの方が鋼心の無い分外径を小さくできるメリットがある。

この考え方の違いがある中で、今回の調査では、AAACとACSRそれぞれの低損失電線の電氣的、物理的、経済的比較を行い、低損失ACSRがライフサイクルコスト、CO2削減で有利であり、断線のリスクも軽減できる点を強調して提案してきた。

今後、同様の状況にある他国のカウンターパートのエンジニアに対しても、次の技術的な説明により、日本で適用されている低損失ACSRが、同一外径のAAACに比べ20%近い損失低減を可能にしている優位性は、ACSRの特質によるものである、という点を訴求する必要があると考える。

- AAACの低損失化については、電線形状を工夫し、同じ外径の中にアルミをいかに高密度化するかという点は、低損失ACSRと同じであるが、引張強度をアルミ電線だけで持たせているため、強度を確保できる合金を採用せざるを得ず、抵抗が最も小さいアルミ素材を使うことは困難である。
- これに対し、ACSRは強度と通電性能を鋼とアルミで分担しており、鋼心は日本で開発された高強度鋼線<sup>1</sup>を採用し、心線部分の断面積を削減（同じ外径に対しアルミ部分を増加）し、アルミは強度を期待されないことから、最も抵抗の小さい素材が採用でき、台形形状による高密度化とともに低損失電線としての最適設計が可能である。
- また、低損失電線のこの組み合わせについては、日本で20年以上の運用実績、ならびに20,000km以上の納入実績があるメーカーが複数社存在する。

### (2) 増容量電線の適用

第7章の「協力対象事業候補の検討」で述べたように、Taabo - Kossou間の225kV既設送電線は、送電容量（電流値）が現在の標準（840A）に比べ75%（630A）しかなく、新設送電線の利用率を上げるためには、既設送電線の電線張替えて増容量化することが今後の課題となる。

一方、既設90kV送電線の中には過負荷状態の送電線が多く、特に、大アビジャン圏については設備増強の必要性・緊急性が高くなっているが、都市部での新たな送電線建設は困難で時間がかかることから、対策として電線張替えて増容量化する案が最適と考えられる。

<sup>1</sup> 高強度鋼線（Ultra-High Strength Galvanized、UGS）の引張強度は1960MPa、従来型ACSRの鋼線GSWの引張強度は1320MPa



出所：JICA 調査団が作成

(c) 物理的特性の比較および評価

物理的特性の比較を表 8.2 に示す。重量は基準電線に比べ ZTACIR 160 で 13% 重くなるが、この重量増による既設鉄塔強度への影響（径間長 300m（鉄塔間距離）を想定）は、鉄塔部材の裕度によっては強度不足が伴う可能性がある。一方、ZTACIR 120 で 12% 軽くなるため、重量に関する既設鉄塔強度への影響はないと考えられる。ただし、引張強度が小さくなるため、基準張力も低下した場合、弛度への影響は 300m スパンで基準電線の 7m に比べ約 9m となる。

表 8.2 選定した電線の物理的特性比較

Conductor	AAAC 228-AL4	ZTACIR 160	ZTACIR 120
Weight (kg/km)	627.6 (100%)	707 (113%)	553 (88%)
Minimum Breaking Strength (kN)	74	62	49
Modulus of Elasticity (GPa)	57	79	79
Coefficient Linear Expansion ( $\times 10^{-6}$ )	23.0	16.0	16.0
Sag and Tension <sup>3</sup> (m)	6.937 (9981 N)	9.471 (8231 N)	10.062 (6066 N)
D.C. Resistance at 20°C (Ω/km)	0.1460 (100%)	0.1750 (120%)	0.2250 (154%)

出所：JICA 調査団が作成

(d) 経済性（送電線工事費）

電線資材代は、基準電線に比べ ZTACIR は同径の場合で約 4 倍（推定）であり、径が小さくなる分は若干安価になると想定されるが基準電線よりは高くなる。送電線工事費は、ZTACIR を適用した場合、主に資材代が増となるが、電線張替の全体工事費としては標準電線による建替（既設除却を含む）の全体工事費に対して約 14% 程度になると見込まれる。

ZTACIR の電線地上高の垂下量（約 3m）が設計上許容できない場合は、電線の支持点を上げるために鉄塔高を若干高くすることや懸垂鉄塔を耐張化することが必要であり、全体工事費はさらに増加する可能性があるが、鉄塔地上高の制約条件、標準の鉄塔設計強度の詳細データ・裕度などの考え方が明らかでないため、この点については、今回の評価では考慮していない。

また、連続許容温度 210°C において、今回比較対象とした ZTACIR160 の送電容量は AAAC570（846A）とほぼ同等であり、ZTACIR120 の送電容量は AAAC366（640A）よりも 12% ほど大きくなっていることから、コートジボワールにおける運用温度と必要な送電容量に合わせた最適設計により外径・重量の低減が可能であり、これによりコスト・鉄塔設計への影響も小さくなるが、今回の検討ではこの点については考慮していない。

<sup>3</sup> 20% Every Day Stress; AAAC570: 840A@75°C, LL-ACSR/UGS: 840A@70.2°C, Aero-Z@: 840A@72.4°C, no wind



(3) その他提言事項

CI-ENERGIES との技術打合せの中で、3巻線タイプ変圧器(225/33/15kV)の採用によるコストダウン、長距離配電線の電圧低下対策としての電圧調整器の適用、送電容量の小さい Taabo - Kossou 間既設送電線の潮流を増加させるための、増容量電線への張替え以外の方策として系統安定化装置の適用についても提案を行った。

こういった点と、今回の調査を通じ、今後、コートジボワールで適用が可能と考えられる送電、変電、配電、系統運用、設備計画分野での優れた本邦技術と、今後、コートジボワールの電力セクターが抱える技術的課題の解決に資すると考えられる提言を表 8.3 に示す。

表 8.3 コートジボワールで適用が考えられる本邦技術

項目（対象）	適用技術	メリット・必要性	協力形態
送電線新設 設備利用率の 高い重要送電線	低損失 電線	低損失鋼心アルミ電線は、コ国で標準的に採用しているオールアルミ電線と比べ、同一径で 20% 程度の損失低減効果がある。電線単価増と重量増による鉄塔コスト増となるが、ライフサイクルでの経済効果が期待できる。	有償 無償
送電線増容量 過負荷送電線	増容量 電線	過負荷状態送電線の鉄塔を建替えずに、増容量電線への張替えて送電容量を増加可能。	有償 無償
変電所新設・改修 都市部・沿岸部 の変電所	屋外 GIS	都市部で用地確保が困難、用地取得コストが高い、既設変電所を改修して増設や昇圧のための拡張スペースを生み出す必要がある場合、塩害が厳しい地域などでは、気中絶縁タイプの開閉設備に比べ適用メリットがある。コスト増となるため、他対策案と総合経済性比較が必要。	有償 無償
地中送電系統 の導入 アビジャン市内の 送電線増強	225kV、 90kV 地中 ケーブル	都市部で用地確保・社会配慮面で架空送電線の新設が困難な地域に、本邦で長年にわたり豊富な適用実績がある、基幹系統の地中送電技術を適用。	有償 無償
配電設備増強 利用率の低い 配電線	低損失 配電用 変圧器	配電網の損失低減のため、変圧器鉄心材料に無負荷損失の小さいアモルファスを採用した、低損失配電線用変圧器を適用。アビジャンの 15kV から 20kV への変更時の適用、比較的潮流が少ない地方電化用への適用効果が大きい。	有償 無償
配電電圧の 調整・維持 長距離配電線	配電用電 圧調整器	33kV 配電線による地方電化では 20km 近くの長距離送電になり、潮流が大きい時間帯の需要地での電圧低下が大きいことから、配電線用電圧調整器 (SVR) の効果的な活用を含めた電圧調整技術が必要。	技術 協力
配電線地中化 アビジャン市の配 電線全地中化計 画	地中設備 管理 システム	アビジャン市で配電線の全地中化を推進していくため、他の地中埋設物と整合した設備形成ができるよう、本邦で採用しているような、マッピングシステムなどによる関係者の一元的な管理・調整方法が必要。	技術 協力
系統運用者 人材育成 系統増強の 急な進展	系統運用 訓練 系統安定 化装置	系統増強は進展しているが、電源の偏在化、隣国との電力融通の増加、大規模太陽光発電の連系など電力系統運用上の課題も多くなると想定。系統運用者の訓練と人的な対応が困難な状況における系統構成・運用条件変化に対応した系統安定化装置の導入が必要。	技術 協力
再生可能 エネルギー 大規模発電設備 の系統連系	電力貯蔵 設備・運用 システム	天候変化の影響の大きい再生可能エネルギー電源の大規模系統連系で課題となる、大型電力貯蔵設備の適用による需給調整、電源の制御方式や関連する制度面での整備が必要。	有償 無償 技術 協力
設備計画業務 業務的的確化・ 効率化	計画の前 提条件・ル ール整備	電力系統規模の割には、変電所の新設などの設備増強計画が多すぎることから、最適計画立案に必要な計画業務のルール整備、老朽設備更新計画策定に必要なアセットマネジメントの構築が必要。	技術 協力

出所：JICA 調査団が作成