

経済産業省 御中



令和3年度

質の高いインフラの海外展開に向けた
事業実施可能性調査事業

スーダン共和国向け電力及びインフラ市場調査・要望確認事業

最終成果報告書

令和4年2月28日

三菱商事株式会社 三菱商事マシナリ株式会社 日本工営株式会社

目次

SECTION 01

調査の概要

スーダン共和国 概要	4
調査概要	5
METI F/S 実施調査体制	6
METI F/S 調査実施スケジュール	7

SECTION 03

スーダン共和国 電力セクター調査

電力セクター概況	16
既設設備と将来計画	20
電力分野の課題分析	23
適用の見込みのある本邦技術	24
協力対象事業の検討	29
事業実施枠組み	56
環境社会配慮	60
今後の進むべき方向	64

SECTION 02

スーダン共和国の概況

人口推移、人口増加率	9
主要産業	10
政治体制	11
経済指標	12
社会情勢	13
地理と気候	14

SECTION 04

スーダン共和国 港湾セクター調査

港湾セクター概況	73
既存施設と将来計画	74
港湾分野の課題分析	76
協力対象事業の検討	77
事業実施枠組み	78
今後の進むべき方向	84
次段階調査での要検討事項	88

Introduction of the Pre-Feasibility Study

SECTION

01

調査の概要

スーダン共和国 概要	4
調査の概要	5
METI F/S 調査実施体制	6
METI F/S 調査実施スケジュール	7



スーダン共和国 概要

スーダンは、豊かな天然資源と肥沃な大地に恵まれた大国。



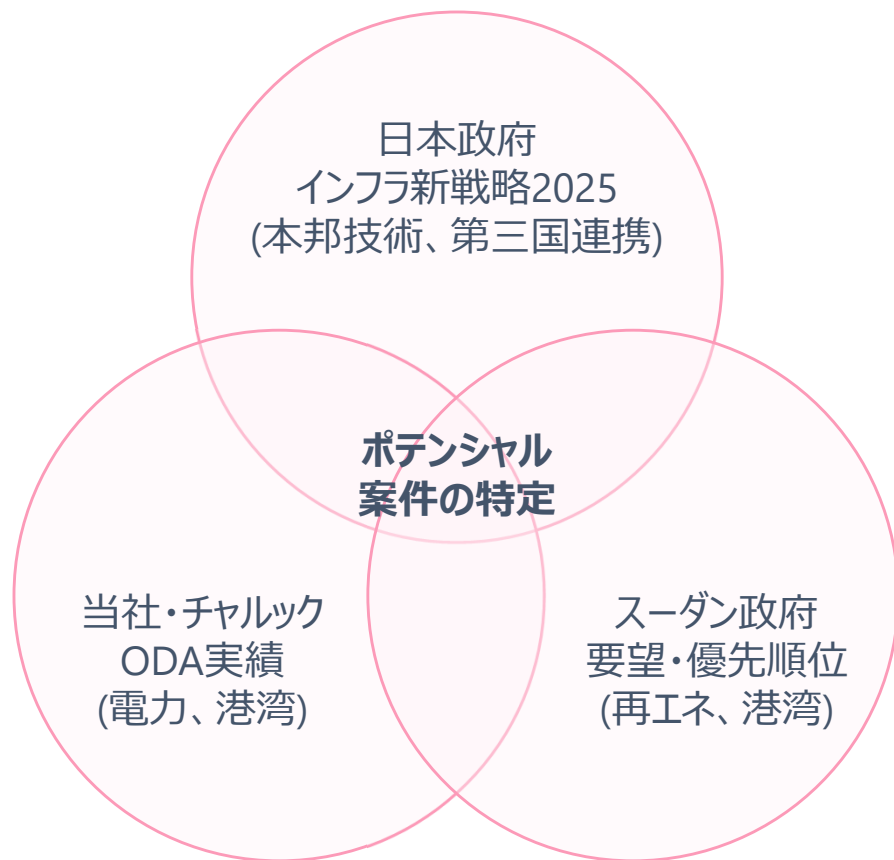
- ✓ アラブとアフリカの結節点、「アフリカの角」地域の要、7カ国と国境を接し、紅海に面し、ソマリア沖に至る
- ✓ 2つのナイル川からの水資源と肥沃な耕地、豊かな天然資源に恵まれる。

【概要】

- 面積 : 188万平方km (アフリカ大陸第3位)
- 人口 : 4,281万人 (2019年)
- 首都 : ハルツーム
- 人種・民族 : アラブ人他 (200以上の部族)
- 言語 : アラビア語 (公用語)、英語
- 宗教 : イスラム教、キリスト教、他
- 主要産業 : 鉱業、農業、林業、畜産業
- GDP : 189億ドル (2019年)
- 一人当たりGNI : 590億ドル (2019年)
- 首相 : アブダッラー・ハムドゥーク
(2022年1月3日迄)
- 在留邦人数 : 134名 (2017年)
- 外交使節 : スーダン共和国駐劄日本国大使
服部孝特命全権大使

調査の概要

電力、及びインフラ(港湾)分野における本邦制度金融、第三国連携等を活用した質の高いインフラ案件形成に向けた案件候補を特定すべく、市場調査・要望確認事業を実施する。



【コンセプト】

- ✓ 本邦技術を活用した円借款案件候補の特定
- ✓ チャルックとの第三国連携を梃子に、本邦技術の活用が見込まれる電力、港湾分野を深堀

【本邦技術候補】

<電力>

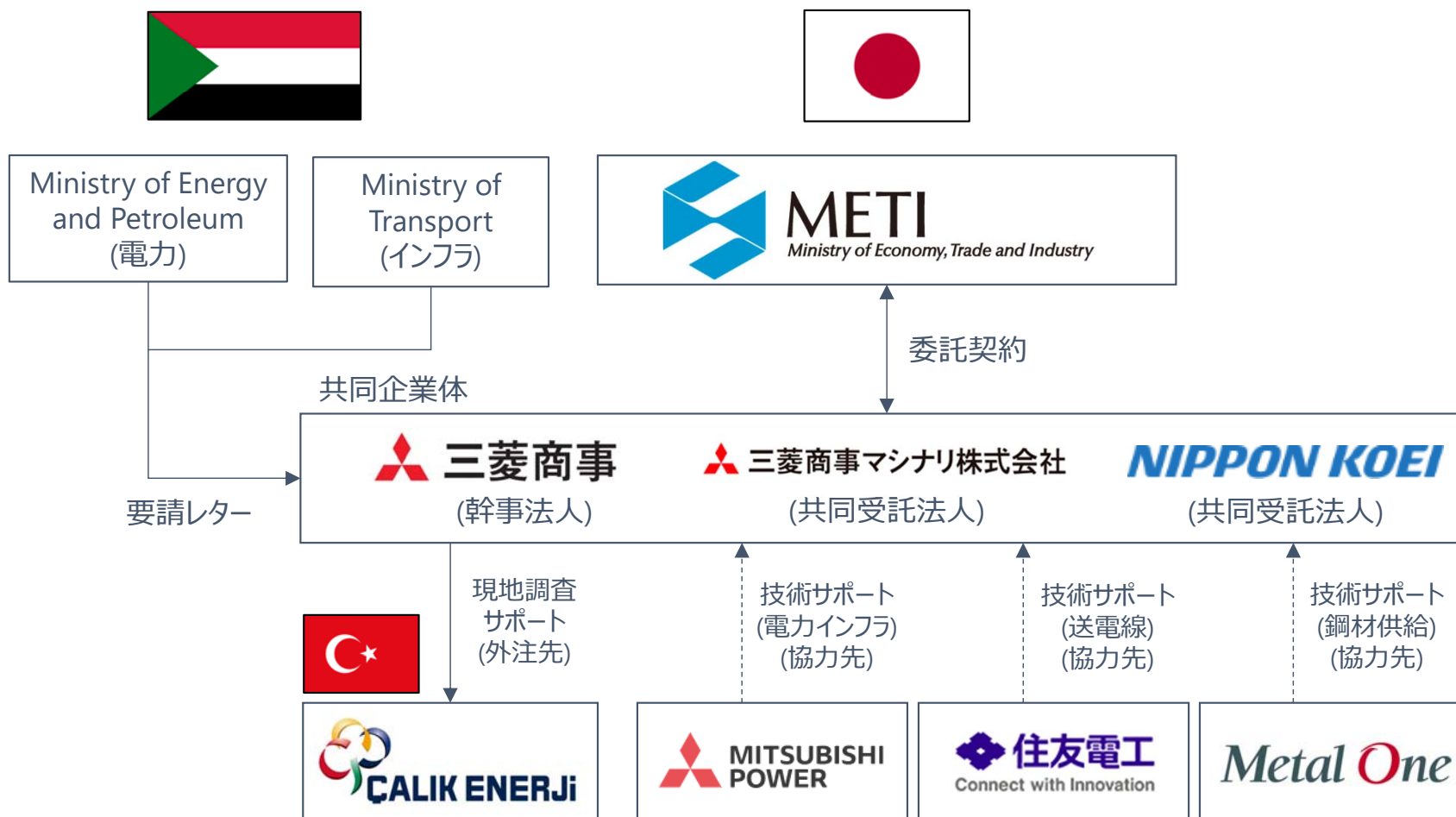
- ✓ ガス火力発電(三菱パワー製H25/H100ガスタービン)
- ✓ 低損失電線(住友電工製)
- ✓ 蓄電池(BESS & SOFC)
- ✓ 地熱発電

<港湾>

- ✓ 特殊鋼板(鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板)
- ✓ 特殊工法(岸壁等の急速施工方法等)

METI F/S 調査実施体制

三菱商事(株)(幹事法人)、三菱商事マシナリ(株)(共同申請者)、日本工営(株)(同左)の連名による調査



METI F/S 調査実施スケジュール

2021年4月に採択結果公表後、8月に委託契約締結・調査開始し、2022年2月最終報告書提出に向け以下スケジュールにて調査を実施。

作業項目 \ 実施期間						2022年	
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
準備作業	■	■					
第1回現地調査（ヒアリング）			■	■	電力のみ		
文献調査、ウェブミーティング				■	■	■	
電源開発案、インフラ開発案の立案					■	■	
詳細検討					■	■	
報告書案の作成						■	
報告書案の説明（ウェブミーティング）							■
最終報告書の作成							■

■ 国内作業 ■ 現地作業

2021年 8月 : 委託契約締結、調査開始

2021年10月 : 電力セクター現地調査実施（港湾セクターは、スーダン政変により現地渡航を中止）

2022年 2月7日 : スーダン 電力石油省、交通省への報告書案の説明（ウェブミーティング）

2022年 2月末 : 最終報告書提出

SECTION

02

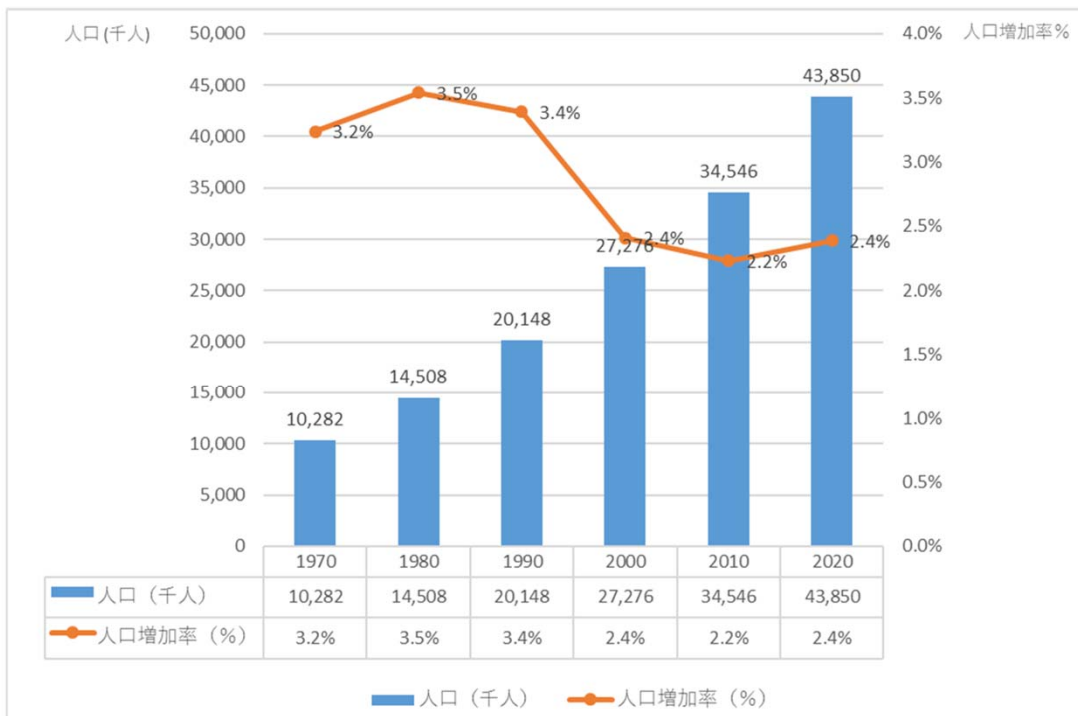
スーダン共和国の概況

人口推移、人口増加率	9
主要産業	10
政治体制	11
経済指標	12
社会情勢	13
地理と気候	14



人口推移、人口増加率

= 人口推移、人口増加率、出生率、人口構成 =



出典: 世界銀行データを基に調査団にて作成

◆ 人口推移、増加率

- ✓ 2021年現在、人口は約4,385万人と1970年以降増加し続けている。
- ✓ 2000年～2020年は、平均年率約2.4%で増加。
- ✓ 予測では2064年までに人口が1億人に達するとされている。

◆ 出生率、人口構成

- ✓ 出生率は比較的高く、女性一人当たり4.4人と推定。
- ✓ 1980年以降、死亡率の低下により、人口増加を実現している。
- ✓ 出生率の高さから、人口の約42%が15歳以下という構成になっている。

主要産業

= 鉱業、農業、林業、畜産業、漁業 =

◆ 鉱業

金、鉄鉱石、鉛、アルミニウム、コバルト、等の鉱物を採掘。

鉄鉱石やウランの埋蔵量も確認されている。

◆ 農業

GDPの約3分の1を占め、**雇用の50%以上が農業**を占めている。

主食であるソルガムや小麦、輸出作物の綿花や胡麻を生産。

◆ 林業

ガム生産のためのアカシアガムの栽培が盛ん。(アフリカにおける生産量最多)

◆ 畜産業

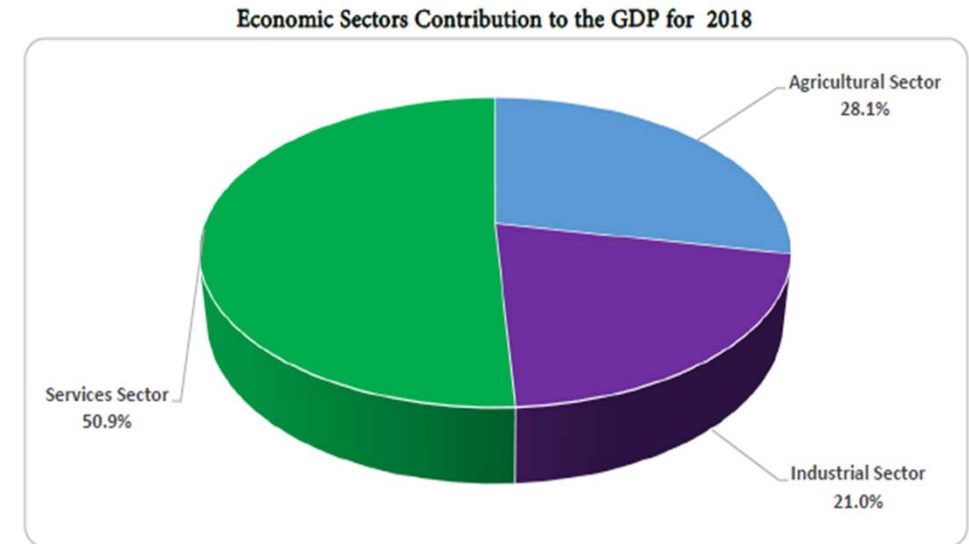
エチオピアに次いで家畜飼養頭数が多く、羊、山羊、牛、ラクダ等の家畜や、魚、家禽等の生産が盛ん。

家畜、肉、皮革等は、中国、インド、エジプト、アラブ湾岸諸国に向けて輸出されている。

◆ 漁業

ナイル川水系等の豊富な水資源と土地がある事から、捕獲漁業や養殖業が活発。

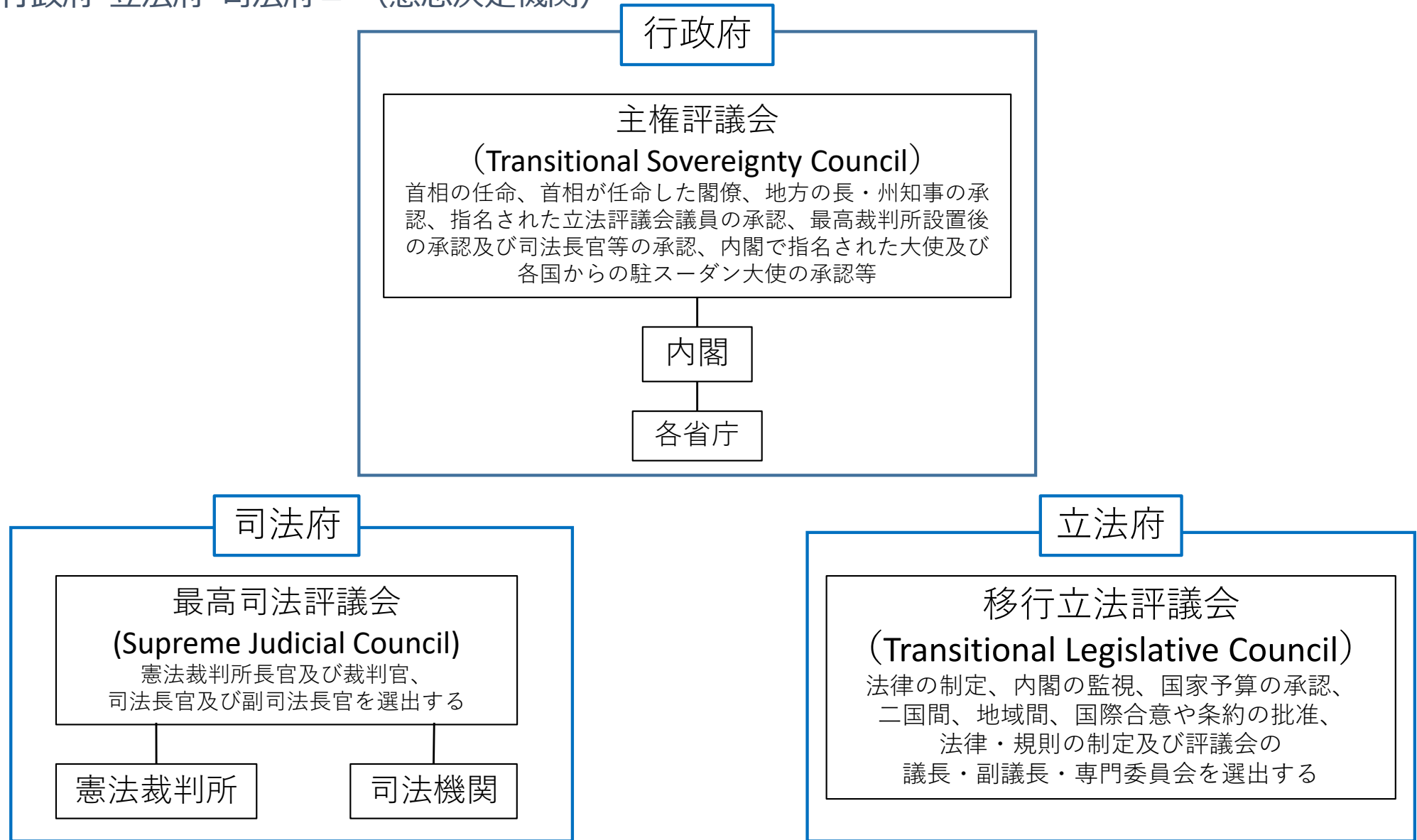
2017年における捕獲漁業生産量は38,400トンで、内地での漁獲が35,100トン(約92%)、海洋(紅海)での漁獲が3,300トン(約8%)であった。



出典: Central Bank of Sudan "58th ANNUAL REPORT 2018"

政治体制

= 行政府・立法府・司法府 = (意思決定機関)



出典：ウェブサイト 中東・イスラーム諸国の政治変動「スーダン／現在の政治体制・制度」を基に、調査団にて作成

経済指標

= 国家歳入、対外債務、インフレ率 =

◆ 国家歳入

- ✓ 2011年の南スーダン独立により、ス国の石油関連製品輸出は約75%減少し、**国家歳入は約120億SDG（同GDPの約9%）** 縮小。
- ✓ **対外収入は約64億ドル（同GDPの約13%）** 縮小し、外貨準備高は約5億ドル縮小した。

◆ 対外債務

- ✓ **対外債務541億ドル**の処理が重要課題となっている。

◆ インフレ率

- ✓ 2018年以降、国内のインフレ率が年々上昇しており、**2021年6月には対前年比413%**まで高騰。
- ✓ 為替の悪化が継続し、外貨準備高の深刻な不足。
- ✓ 燃料、小麦、医薬品等生活必需品は慢性的に不足。
- ✓ 暫定政府は燃料補助金撤廃や管理変動相場制導入等の改革を実施しているが、財政健全化に向けた改革・措置が課題となっている。

< ス国の経済指標諸元 >

主要産業	鉱業、農業、林業、畜産業、漁業
GDP	189 億ドル（2019 年、世銀）
一人当たり GNI	590 ドル（2019 年、世銀）
経済成長率	▲2.5%（2019 年、IMF）
物価上昇率	52.37%（2018 年 1 月、スーダン中央統計局）
失業率	13.3%（2017 年、世銀推定）
総貿易額（2020 年、UNCTAD*）	輸出：38.03 億米ドル
	輸入：98.38 億米ドル
主要貿易品目（2015 年、世銀）	輸出：石油、食用油、金、家畜（羊）等
	輸入：小麦、航空機部品、さとうきび、医薬品等
主要貿易相手国（2018 年、WITS）	輸出：アラブ首長国連邦、中国、サウジアラビア、エジプト、インド
	輸入：中国、ロシア、サウジアラビア、インド、アラブ首長国連邦
通貨	スーダン・ポンド（SDG）
為替レート	変動相場制：1US\$ = 約 55.3SDG（2020）

*UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development

出典: WITS: World Integrated Trade Solution (世界統合貿易ソリューション)

社会情勢

= 食料供給、住宅供給、エネルギー供給、医療供給 =

◆ 食料供給

2019年の経済危機に直面して以降、ス国は食糧不足問題を抱えている。

首都ハルツームに住む人口4,500万人の内、4分の1近くにあたる**980万人**が「**高度の急性食糧不安**」に陥っている。（国連）

現在のス国の食糧危機は、長引く避難民、経済の衰退とインフレ、COVID-19の大流行によって悪化した食糧価格の高騰が原因であると推察。

◆ 住宅供給

砂漠の厳しい環境から逃れるため、農村から都市への移住が進んでおり、2020年時点では**人口の34%が都市部に居住**。

都市部での居住者増加により、首都ハルツームでは60%以上、ポートスーダンやオムドゥルマンなどの都市部でも不法占拠者の割合が30%を超えると推定。

住宅供給不足は250万戸と推定されている。

住宅事情を改善するため、ス国政府は住宅開発計画のための国家基金を設立し、住宅建設を促す取り組みを行っている。

◆ エネルギー供給

電力への**アクセスは、2019年時点で人口の約32%**となっており、人口の半数近くが未電化となっている。

家庭への調理用燃料の供給量に関しても、調理用のクリーンな燃料が利用可能な人口は、2016年時点で約41%に止まっている。

◆ 医療供給

医療水準は適切な水準を下回っており、施設、医療機器、職員の観点からすると、医療体制には限りがある。

国内経済が不安定なため、医療機器の不足やメンテナンス不良が著しく、特に国公立病院においてその傾向が顕著となっている。

民間の施設の方がより多くのサービスや専門医による治療を受けられ、国公立病院と比べて衛生状態も良い等の差がある。

新型コロナウイルスの感染拡大を受け、医療体制の脆弱さが露呈した為、保健医療部門に対する投資需要は拡大傾向にある。

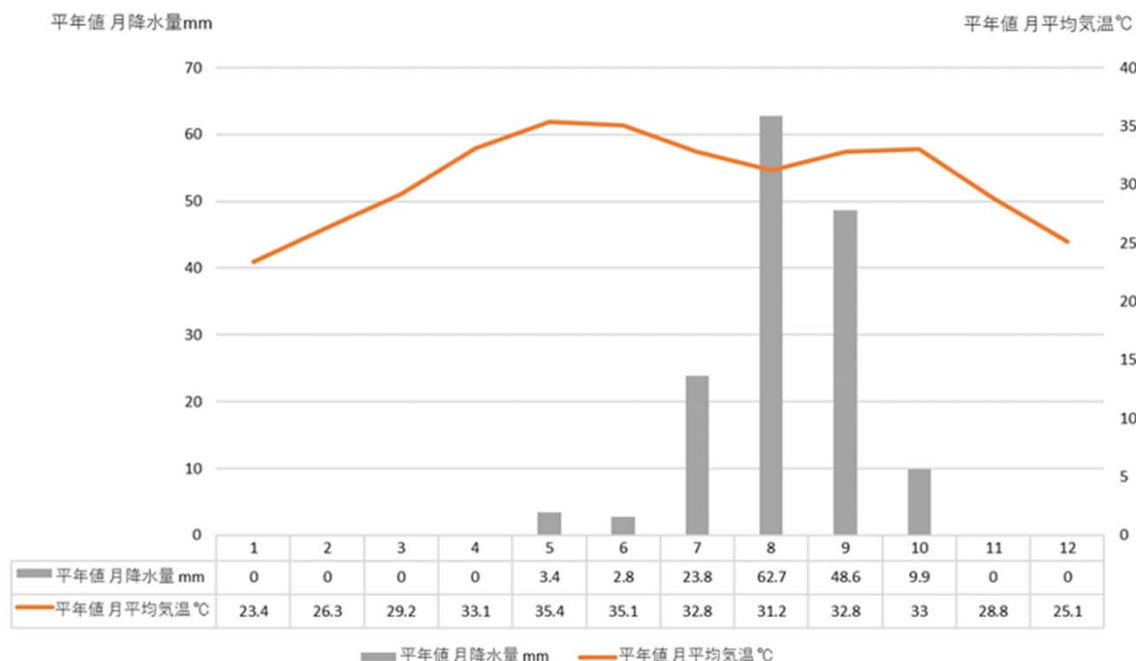
地理と気候

◆ 地理

- ✓ 面積は約188万平方km(日本の約5倍、アフリカ大陸第3位)の大国であり、肥沃な土地に恵まれている。
- ✓ 地形全般は標高200～500mの低平な高原であり、北部にはヌビア砂漠、西部にはエネディ高原とマツラ山脈、中部はゲジラ(灌漑地)、南部には湿潤地帯がある。
- ✓ 南北にナイル川が貫流している。



出典: 外務省 HP より抜粋



出典: 気象庁データを基に調査団にて作成

◆ 気候

- ✓ 1年を通じて高温低湿度であり、年間平均気温は26.7℃。
- ✓ 北部は砂漠気候、南部はサバンナ気候。
- ✓ 気候は以下4つの時期に分かれている。
 - 4～6月：最も暑い時期
 - 7, 8月：雨季
 - 9, 10月：セカンドサマー
 - 11～3月：最も涼しい時期

SECTION

03

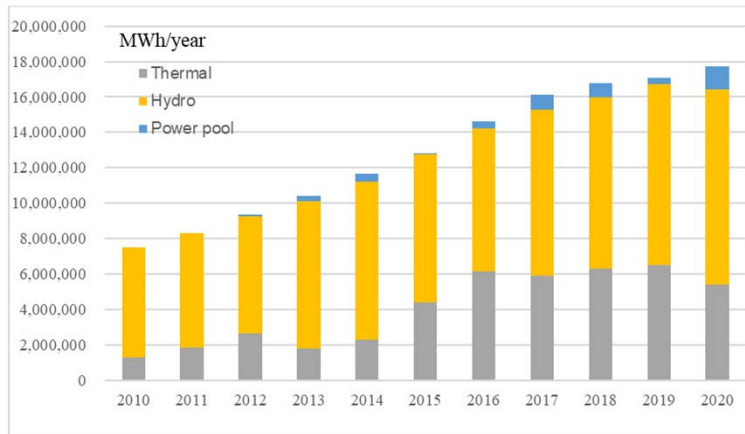
スーダン共和国 電力セクター調査

3.1 電力セクター概況	16
3.2 既設設備と将来計画	20
3.3 電力分野の課題分析	23
3.4 適用の見込みのある本邦技術	24
3.5 協力対象事業の検討	29
3.6 事業実施枠組み	56
3.7 環境社会配慮	60
3.8 今後の進むべき方向	64

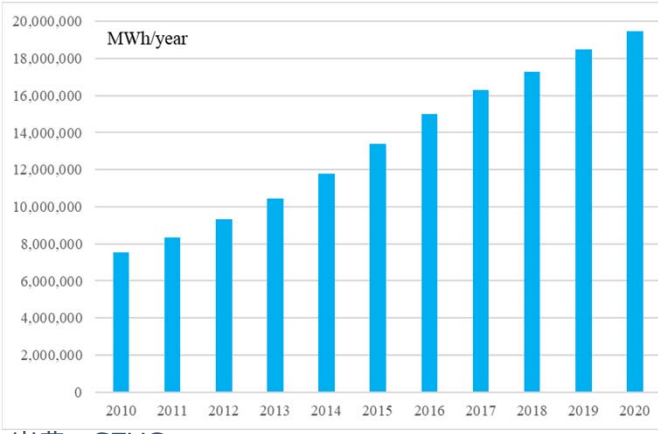


3. スーダン共和国 電力セクター調査

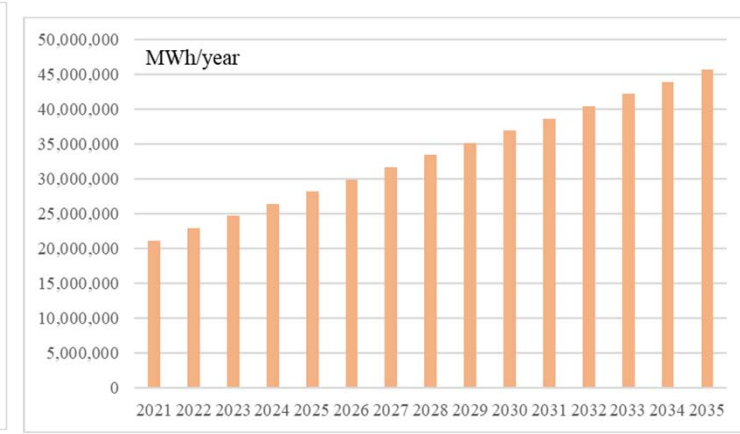
3.1 電力セクター概況：電力需給状況と需要予測



出典：SEHC
ス国の発電電力量の推移 (MWh/年)



出典：SEHC
ス国の年間需要電力量の推移 (MWh/年)



出典：Electricity Sector Strategy (2020-2035) :
ス国の年間需要電力量の予測
(2021年から2035年) (MWh/年)

年間発電電力量と電源構成(2020年)

1. 年間発電電力量 = 約18 TWh/年
2. 電源構成：火力（石油） 31%、
水力 62%、国際融通 7%
3. 国際燃料価格、水理・気候変動に脆弱
⇒エネルギー多様性必要
4. 2017年以降発電電力量鈍化
⇒制裁、通貨暴落、資金難

年間需要電力量(2020年)

1. 年間発電電力量 = 約19.5 TWh/年
2. 電力アクセス率=32.2% (2018年)
都市部 = 高、地方 = 低 ⇒地域格差
3. 2018年以降発電電力量を上回る需要
⇒頻繁な負荷制限や停電発生
4. 世帯平均電力消費量 = SSAの10倍
⇒低電力料金 & 節約インセンティブ無

電力需要予測(2021~2035年)

1. 全国民80%以上系統アクセス目標
2. 20.0 TWh/年(2021年)
⇒**45.0 TWh/年(2035年)**

* SSA: サハラ以南アフリカ

電力供給不足拡大⇒負荷制限/アクセス率向上目標⇒早期安定電源確保

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.1 電力セクター概況：法制と事業体制

- ✓ 電力法の内容がセクターの実態並びに社会的要請とあっていない。→電力法2021年が検討中。
- ✓ 民間資金活用のためのルール作りの社会的要請。→PPP法が施行。ただし、詳細制度設計が待たれる。
- ✓ ERAのための特別な法律はない。
- ✓ 省エネや再生可能エネルギーの導入推進にかかる法令は無い。
- ✓ 再生可能エネルギーの導入推進にかかる法令は無い→再生可能エネルギー接続規程で技術要件は規定

ス国の電力セクター関連法令

法令名	概要
電力法 (Electricity Act, 2001)	電力会社の役割と権限、監督官庁の役割と権限、免許の付与 (新規参入可能)
投資法 (Investment Act, 2021)	国内外の投資家にとって望ましい投資環境の構築、より予測可能で透明かつ公平なシステムの樹立
公民連携法/PPP法 (Public-Private Partnership Act, 2021)	PPP事業の組成や促進、民間事業者のプロジェクトへの参画並びに投資の推奨、入札における透明性並びに公平性の確保

出典：調査団にて作成

2001年 電力法で国営会社NECによる一括管理

2010年 大統領令でNECを発送配電に分社化 (セクター改革)

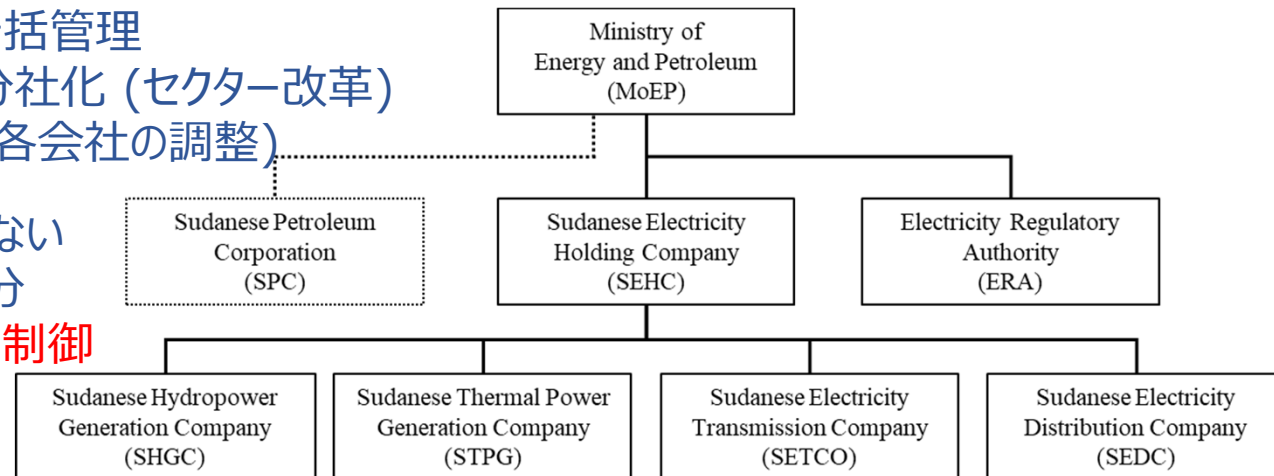
2016年 持株会社SEHCの発足と統括 (各会社の調整)

✓ ERAは、電力セクターに属し、独立していない

✓ SEHCが配電会社の収入を各会社へ配分

✓ 省庁とSEHCが案件の意思決定、資金を制御

✓ SHGC, STPG, SETCO, SEDCは
施工監理と維持管理に責任



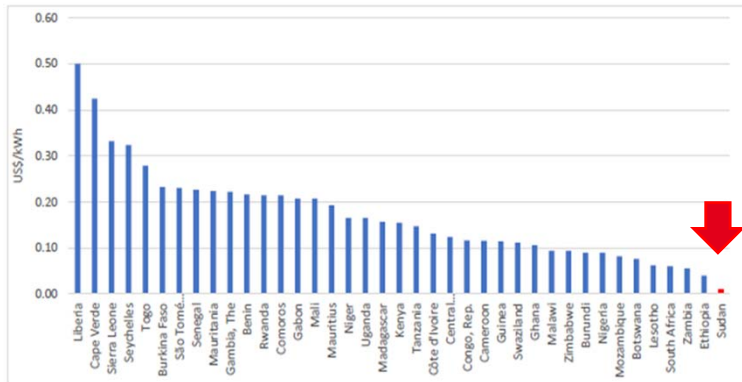
出典：調査団にて作成

ス国の電力セクターの構造

従来の法令整備・セクター改革では不十分⇒法令・セクター構造の改善の必要性

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.1 電力セクター概況：電力価格と財務状況



出典：「From Subsidy to Sustainability: Diagnostic Review of Sudan's Electricity Sector」Final report, WB
サハラ以南アフリカにおける電力価格比較(USD/kWh)

2021年電力セクター費用・収益および回収率見積 (2020年消費ベース)

Description	Unit	Value
Average Tariff	US ¢ /kWh	1.05
Unit Operating Cost	US ¢ /kWh	12.96
Revenues	US\$ (million)	156
Operating Costs	US\$ (million)	1,929
Operating Costs Recovery Ratio	%	8.1

出典：現地調査時のヒアリングにより調査団にて作成

電力価格構造

1. **燃料：政府(国庫) が調達先に直接支払い**
電力料金：燃料費不含
2. **平均電力料金 = 1.05 US ¢ /kWh**
= SSA で最も安い価格
3. **料金改定も通貨下落により実質下落**

* SSA: サハラ以南アフリカ

財務状況

1. 運用費と収入の2021年予想(Mil. USD)
収益 156 < 1,926 運営費用、回収率 僅か 8.1%
2. 電力セクター運用費はSSAではほぼ平均と試算される
3. 現低電力料金による収益では運営費用回収できず
⇒補助金で賄う⇒2026年 補助金 0% 目指す
4. **需要増加⇒輸入燃料増加⇒通貨下落⇒運営費増加**

低料金⇒収益<運営費用 (回収8.1%) ⇒補助金頼り⇒持続性財務体質改善

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.1 電力セクター概況：民間活力活用と電力融通

- ✓ **IPPの実績は少なく(短期間3件)、PPPの実績はない。**
- ✓ 民間活力活用の**障壁**：インセンティブ不足、電力価格の安さ、安定廉価燃料確保、制裁、インフレ、スーダンポンドの価値下落
- ✓ EAPPの創立メンバーとして、エチオピアとエジプトから**電力融通あり。**
- ✓ 海外からの電力購入単価は**国内の火力発電所原価の3分の1程度**で安価。
- ✓ 電力融通推進上の**障壁**：監視制御システムの老朽化、エジプトとの間で調達条件を明文化した契約書無い。

* EAPP: Eastern Africa Power Pool

ス国のIPPプロジェクト

No.	地点	方式	規模	社名(母国)
1	ダルフル	火力(DG)	70 MW	不明(不明)
2	ダルフル	火力(DG)	80 MW	不明(不明)
3	スーダン港	火力(ST)	179 MW	Karpowership(トルコ)

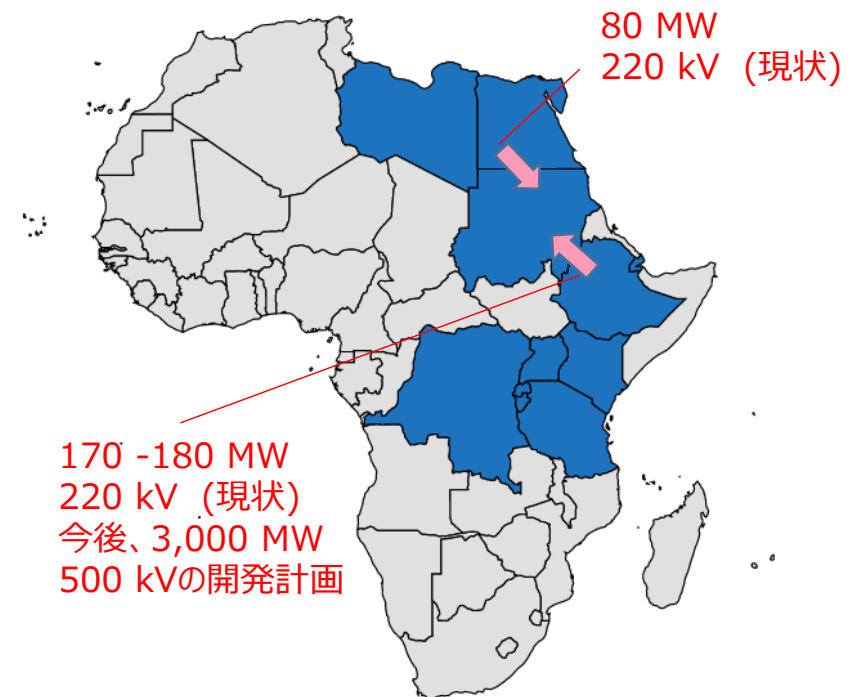
出典：調査団にて作成



出典：Karpowershipウェブサイト



ポートスーダンのIPPプロジェクトにおける電力供給船



出典：EAPPウェブサイトの情報ならびにス国関係者からのヒアリングをもとに調査団にて作成
近隣諸国との電力融通の状況

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.2 既設設備と将来計画：既設発電所と送電線

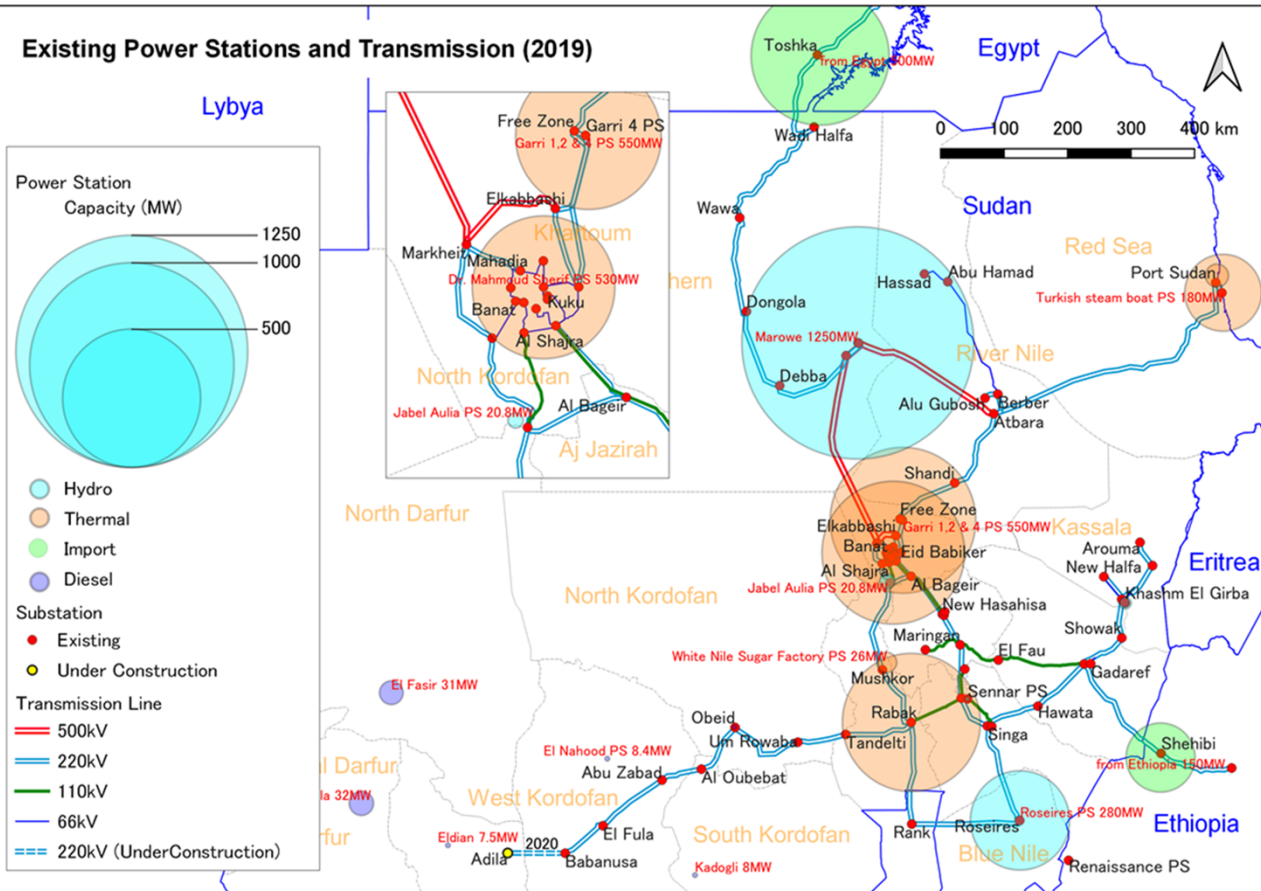
- ✓ ハルツーム近郊に5か所の火力発電所。各々の発電所は25 MW – 125 MWの小容量のユニットの集合体。
- ✓ ガリ1、2、4はハルツーム製油所の近くに隣接して建設されてる。ガリ3建設中でGTCCを予定。
- ✓ その他、ナイル川沿いに6か所の水力発電所。主力はモロウェ 1,250 MW (125 MW×10基)
- ✓ 国土の西には送電線はなく、いくつかの州都は電力系統に接続されていない。
- ✓ 送変電ロスは20.5%。サブサハラ地域では良い方であるが、国際標準の10%を未達成。

火力発電所名	系統接続	方式	燃料	容量 (MW)	運開時期
マハムード・シェリフ博士	220 kV	ST	HFO	380 (6 基)	1985 - 2011
		GT	DO	150 (=25 x 6)	2016
ガリ 1	220 kV	GTCC (GT)	DO	160 (=40 x 4)	2003
		GTCC (ST)	-	60 (=30 x 2)	2003
ガリ 2	220 kV	GTCC (GT)	DO	160 (=40 x 4)	Until 2007
		GTCC (ST)	-	60 (=30 x 2)	Until 2007
ガリ 4	220 kV	ST	PC	110 (=55 x 2)	Until 2010
ウム・ダバキール	220 kV	ST	CO	500 (=125 x 4)	Until 2016
ポートスーダン A	220 kV	DG	DO	17 (3 units)	-
ポートスーダン C	220 kV	DG	DO	20 (5 units)	-
ポートスーダン D	220 kV	DG	DO	7 (3 units)	-
ホワイト	220 kV	DG	DO	12.7 *5	-
エルノフード	非接続	DG	DO	8.4 (3.6) *5	-
エルフォーラ	非接続	DG	DO	-	-
カドグリ	非接続	DG	DO	8 *5	-
エルジェニーナ	非接続	DG	DO	7.85 *5	-
エルファシエル	非接続	DG	DO	32 *5	-
ニャラ	非接続	DG	DO	23*5	-
エルダエイン	非接続	DG	DO	7.5 *5	-
ズリングイ	非接続	DG	DO	2.6 *5	-
合計容量				1,622	

出典: 調査団にて作成

水力発電所名	系統接続	方式	容量 (MW)	運開時期
モロウェ	500 kV	フランス	1,250 (=125 x 10)	2009
ロセイレス	220 kV	カプラン	280 (=40 x 7)	1972
アトバラ上流	220 kV	カプラン	320 (=80 x 4)	2017
ジャバル・アウリア	33 kV	Hydro-max	30.4 (=0.38 x 80)	2005
センナー	11 kV	カプラン	15 (=7.5 x 2)	1962
カシム・エル・ギルバ	220 kV	カプラン	10.6 (=5.3 x 2)	1965
		ポンプ水車	7.2 (=2.4 x 3)	1965
合計容量			1,913.2	

出典: 調査団にて作成



出典: 調査団にて作成

既存の発電所と送電線

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.2 既設設備と将来計画： 電力開発計画

2015-2020電力セクター開発フレームワーク

再生可能エネルギーは含まれず。
資金難で進捗率低

プロジェクトプロフィールフォーム 2021 - 2026

✓40プロジェクト。ソフト、ハード両面から

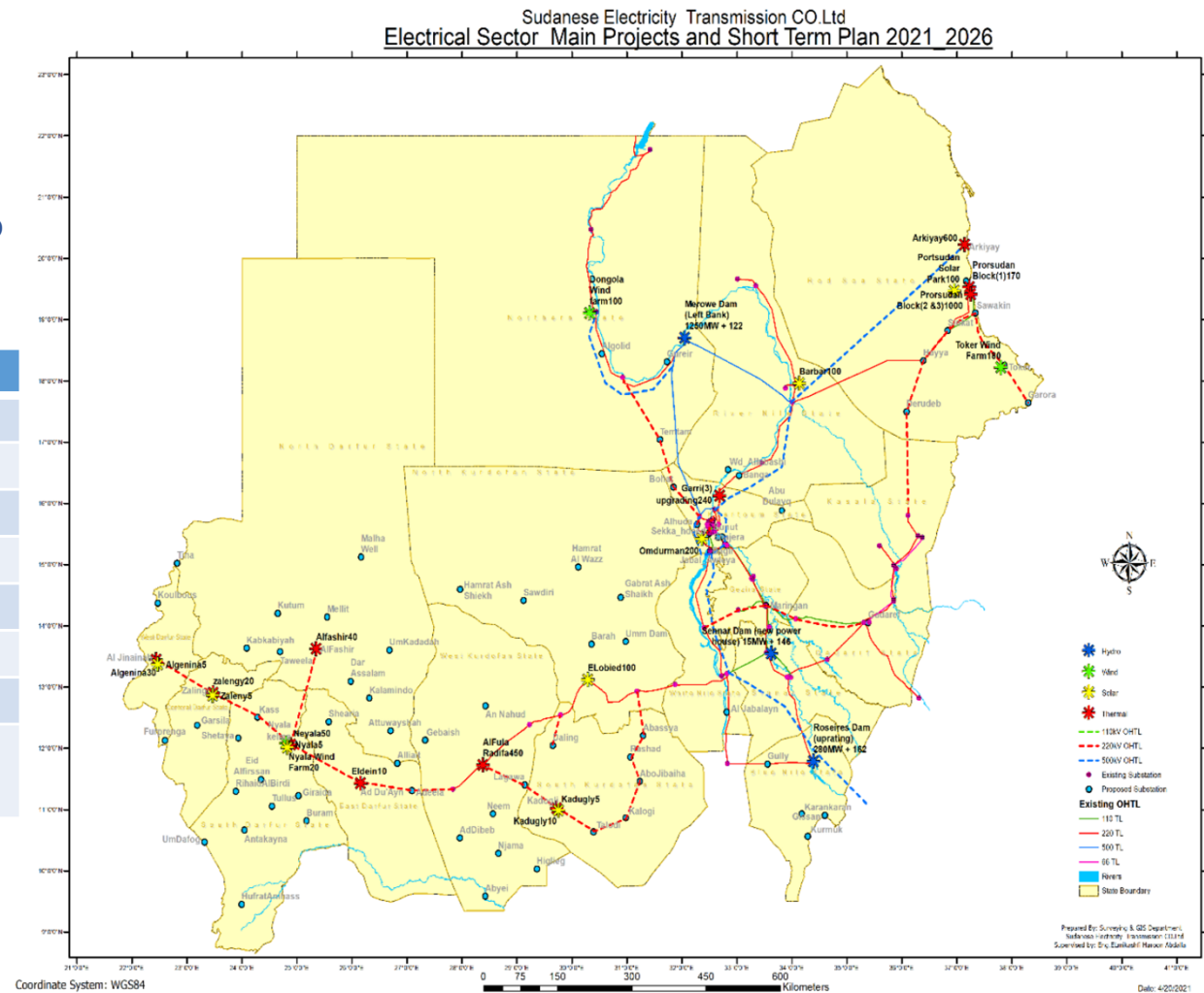
分類	規模	数
風力	300 MW	3
太陽光	420 MW	5
水力	436 MW	3
火力	2,224 MW	9
500 kV 送電線	1,641 km	3
220 kV 送電線	2,259 km	7
その他	-	10
計	3,980 MW 3,900 km	40

出典：調査団にて作成

✓火力計画の主力は、ポーツーダン3
か所に約2,000 MWのLNG焚

✓220 kV 送電線のみでは大容量の
電力を送電できない

→500 kV 送電線の同時開発が重要



出典：Project profile form 2021 - 2026

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.3 電力分野の課題分析

電力セクター現況

1. 需要と供給

需要↑供給→により電力品質低下。アクセス率低し

2. 法令

電力法2021年改定、投資法やPPP法で民間に門戸

3. 組織・構造

電力セクター自律性限定、ERAの自律性向上

4. 民間活力活用

IPP推進も低料金・インセンティブ不足

5. 電力価格&財政・資金

低電力料金、収益<運営費用、補助金頼り

6. 既設設備

火力=石油依存、休止・定格未達有、送配電ロス多

7. 燃料

不足燃料=輸入、LPG=民生用、LNG民間計画中断

8. 再生可能エネルギー

賦存量豊富、地方=小型分散型着手、民間期待も資金難

電力セクター課題

電力セクター改革

需要増加への対応

電力アクセス向上

地方電化推進

電力品質向上

低OPEX設備導入

(再エネ)

既存設備改善

安定燃料供給

ス国電力セクター戦略

(Electricity Sector Strategy 2020-2035)

1. 低コストで総需要100%を満たす

2. 電力加入者・受益者：10%⇒37%
(系統内 85%、系統外 15%)

3. 系統設備容量を15,000MW以上

4. 発電予備力（系統内）：
10%以上、35%未満

5. 110kV/220kV系統拡張：
⇒全国100%系統連系

6. 配電加入者・受益者割合：
35%⇒100%

7. 再エネ(風力&太陽光) 2,500MW
(+1,200MW 原子力)

8. 送電損失 3%、配電損失 11% 削減
(エネルギー効率プログラムによ)

出典：調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.4 適用の見込みのある本邦技術

(1) ガスタービン

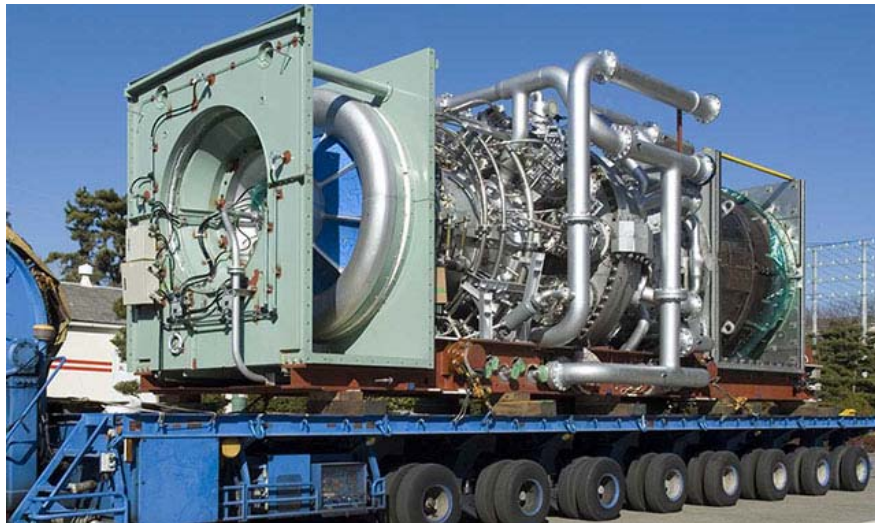
✓ガスタービンは、コンパクトで迅速な起動/停止、安定した動作を備えた発電システム

✓三菱パワー、IHI、川崎重工業は、本技術分野で優位性あり

✓本邦メーカのGTCCは、天然ガスを使用した最もクリーンかつ高効率、高信頼性の運用が可能

✓将来は、水素ガスタービンへの改造を見込むなど、低炭素化社会に適合

GTCC: Gas Turbine Combined Cycle



出典:三菱パワーウェブサイト

(2) 蓄電池

✓再生可能エネルギー導入の際に短周期、長周期の出力変動を調整するために蓄電池の導入が必要

✓東芝、日本ガイシ、住友電気工業は、本技術分野で優位性あり

✓本邦メーカの蓄電池は、**短期間の変動に対応できるように設計・試験されているため、劣化に対する強度あり**（海外メーカの蓄電池は、複数回の交換が必要）

✓本邦メーカの蓄電池は、**安全性が高い**（蓄電池は可燃性の素材で製造されている。海外メーカの蓄電池においては複数の事故報告あり）



出典:東芝エネルギーシステムズウェブサイト

3. スーダン共和国 電力セクター調査

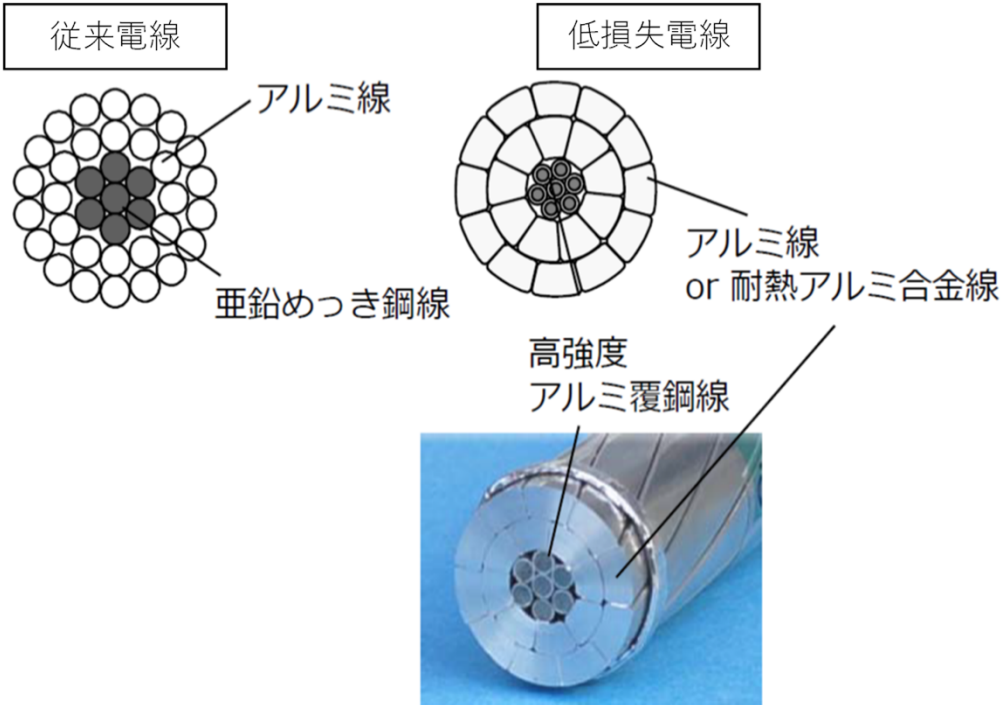
3.4 適用の見込みのある本邦技術

(3) 低損失電線

✓ 鋼心を高強度化且つ小径化し、その外側に台形状のアルミ線を隙間なく配置してアルミ占積率を高めた電線

✓ 住友電気工業は、本技術分野で優位性あり

✓ 低損失電線の採用により、従来電線と比べて送電損失を約15～25%低減可能



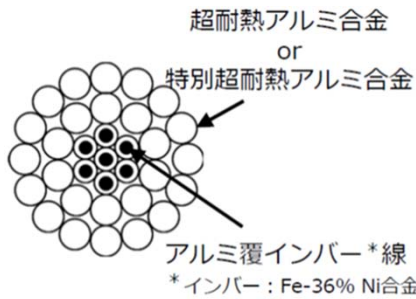
出典：メーカー提供資料

(4) 増容量電線

✓ 超耐熱アルミ合金や特別耐熱アルミ合金を使用することで電流容量を倍増させた電線

✓ 住友電気工業は、本技術分野で優位性あり

✓ 既設送電線に増容量電線を適用することで、既設鉄塔を流用しつつ送電容量を増やすことが可能



出典：メーカー提供資料

	従来電線	増容量電線
連続許容温度 [℃]	90	210～230
短時間許容温度 [℃]	90	240～310
電流容量 [倍]	1.0	2.0

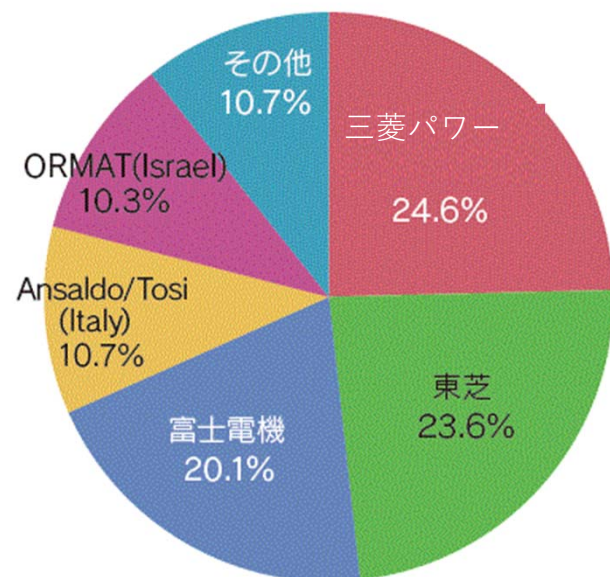
出典：メーカーヒアリングを基に調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.4 適用の見込みのある本邦技術

(5)地熱発電プラント

発電設備の中核機器となる地熱蒸気タービン・発電機は、設備容量の世界市場では、**日本製が67 %を超える高いシェア**を占めている。



出典：経済産業省資源エネルギー庁HP

タービンの金属材料の改良や、応力が集中しないタービン形状の設計、周辺機器である電気・制御装置への対策ノウハウ等においても、**日本メーカーの技術力は非常に高く、世界的に信頼の置けるもの**となっている。



ケニア：三菱パワー製の地熱蒸気タービン・発電機 (140MW)



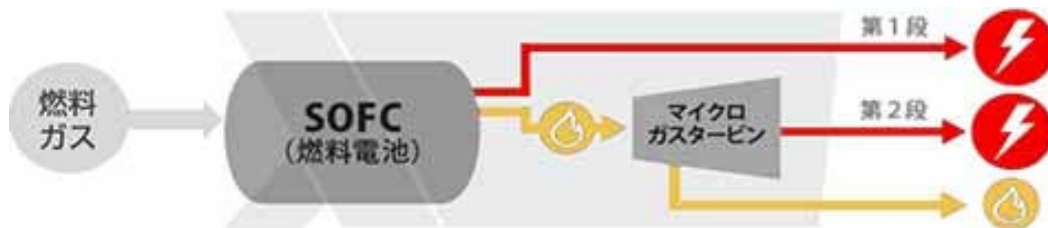
インドネシア：富士電機製の地熱蒸気タービン (110MW)

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.4 適用の見込みのある本邦技術

(6) 燃料電池 (将来)

- ・燃料電池は、CO₂を排出しないため、低炭素社会に最適なソリューションの1つ。高効率かつ天然ガス、バイオガス、水素、プロパン、ブタン等の多種多様な燃料の利用が可能
- ・三菱パワーは、本技術分野で先駆者的位置づけにあり
- ・熱需要のある地域では、マイクロGTを使用したハイブリッドシステムとして使用可能であり、総効率70%以上



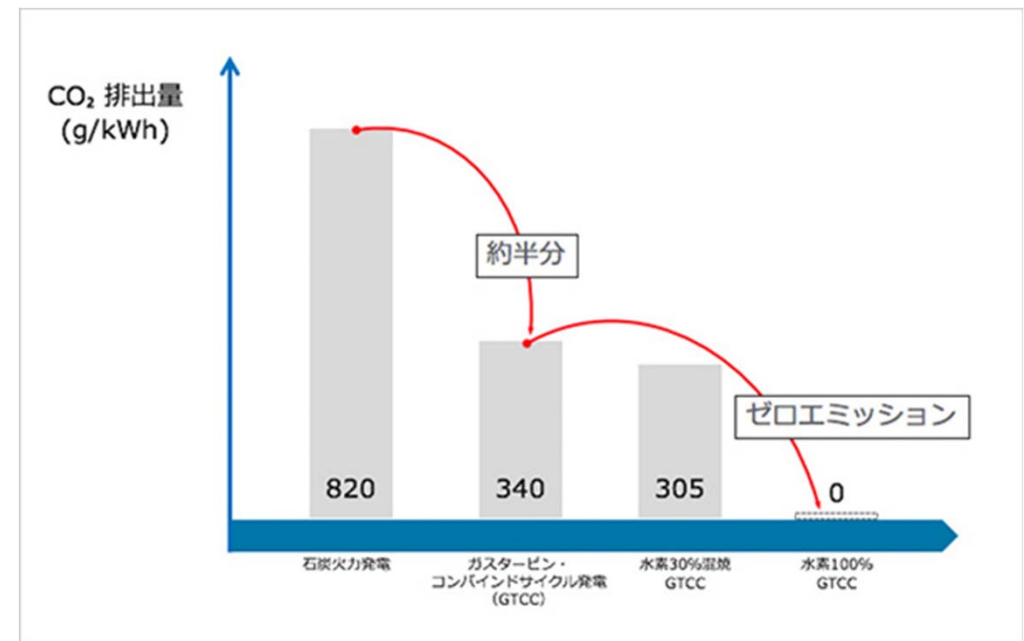
出典:三菱パワーウェブサイト



出典:三菱パワーウェブサイト

(7) 水素ガスタービン (将来)

- ・天然ガスに水素を30%混ぜ、燃焼させることによりCO₂ 排出を約10%削減
- ・三菱パワーは、本技術分野で先駆者的位置づけにあり
- ・天然ガス燃焼ガスタービンの改造により、将来的に水素混焼、専焼ガスタービンとすることが可能



出典:三菱パワーウェブサイト

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.4 適用の見込みのある本邦技術：本邦技術と電力分野の課題対応

項	課題	解決・支援方向性	インフラ海外展開戦略&本邦技術・知見	事業提案
1	電力セクター改革	✓ 法整備 ✓ 補助金削減 ✓ 民間活力活用 ✓ 組織改革 ✓ マスタープラン	1. 質の高いインフラ 2. 官民連携による将来性ある領域取り組み強化 3. 地域取組：アフリカ（電力セクター改革支援）	➤ エネルギーマスタープラン策定支援 ➤ 専門家派遣
2	需要増加対応 ⇒発電開発	✓ 発電設備導入 (1) 早期安定電源確保 (2) 脱炭素移行促進 (3) 燃料費抑制	1. カーボンニュートラル貢献 2. 地域取組：アフリカ（高効率低炭素排出GTCC、蓄電池、地熱発電、低損失電線）	➤ GTCC発電設備 ➤ 風力/太陽光発電設備＋蓄電池 ➤ 地熱発電設備 ➤ 発電設備付帯低損失電線
3	低OPEX設備導入（再エネ） ⇒発電開発			
4	安定燃料供給	✓ Gas to Power 支援	1. カーボンニュートラル貢献	➤ 浮体式洋上天然液化ガス設備（FSRU）等 ガスインフラ
5	電力アクセス向上 地方電化	✓ 100%系統連系 ✓ 分散型発電設備	1. カーボンニュートラル貢献	-
6	電力品質向上	✓ 項目 2 & 4 ✓ 質の良い運用	1. 項目 2 & 4 2. デジタル技術・データ活用促進	-
7	既存設備改善	✓ 診断、改善提案	1. デジタル技術・データ活用促進	-

出典：調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：電力セクター改革（従来型電力セクター改革実施目標とス国対応状況）

項目	評価の観点		ス国の状況
規制	規制機関の有無		有。ERAが設立されている。
	有の場合	独立性	無。ERAは電力石油省からの資金に依存している。
		成熟度	成熟がみられる。EA 2001のもとに設立されており約20年の運営実績がある。
		法的権限	限定的。EA 2001に従属しており、ERAのための特別法が制定されていない。
再編	国営独占からの脱却		独占ではない。EA 2001では独占企業としてSECが設立されたが、2016年に分社化。
	進捗	垂直分離	分離している。発電、送電、配電の垂直分離がされている。
		水平分離	分離している部門がある。発電はIPPにより並行して事業可能である。送電、配電の各部門で並行する事業者はいない。
競争	競争原理の導入の有無		初歩的な競争原理の導入がされている。
	有の場合	IPPの実績	有。ダルフルやポートスーダンでIPPに準じた実績がある。
		シングルバイヤーモデル	有。SETCOがシングルバイヤーとしてス国内(電力融通含む)の発電電力を買い上げている。
		二社間契約	無。供給者と需要者間でSETCOを飛び越えた二社間契約の枠組みはない。
		電力小売市場	無。電力小売市場は形成されていない。
PSP	民間活用実績の有無		IPPに準じた事業の活用実績がある。
	有の場合	発電部門の民間活用	有。IPPに準じた事業の実績がある。
		配電部門の民間活用	無。

出典：調査団にて作成

PSP: Private-Sector Participation

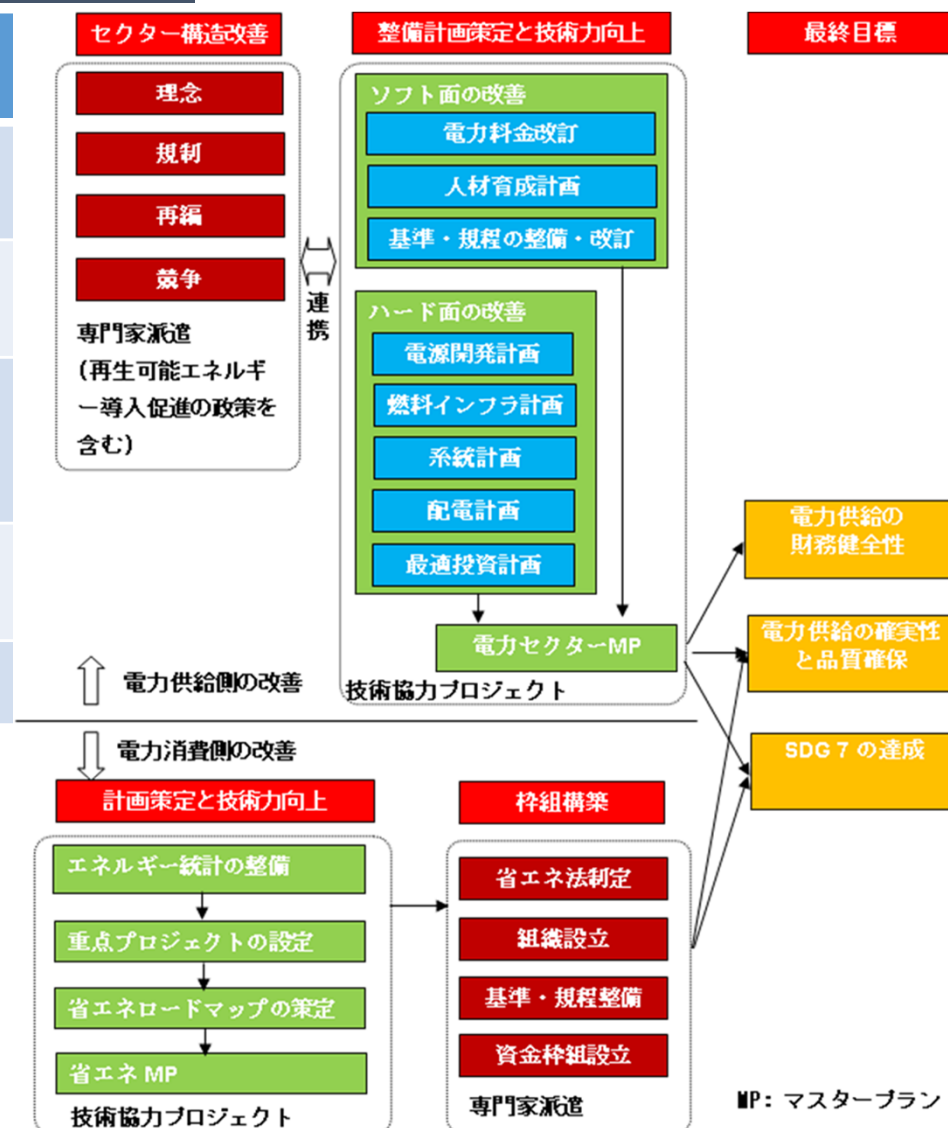
3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：電力セクター改革（支援と専門家派遣）

より進んだ電力セクター改革のイメージ

項目	関係機関	取組案
理念	MoEP	-電力セクター改革, 雇用創出, 社会サービス -成果の広報
規制	MoEP	-他国の規制機関に関する情報提供 -ERAの特別法の骨子作成の助言
再編	MoEP/ STPG/ SEDC	-財務体質分析並びに改善提案 -再編に伴う雇用不安への影響の分析と緩和策の検討
競争	MoEP/ SETCO	-電力融通並びに再生可能エネルギーにかかるPPA (条件、価格、容量、評価方法の検討)
	MoEP	-最適投資計画

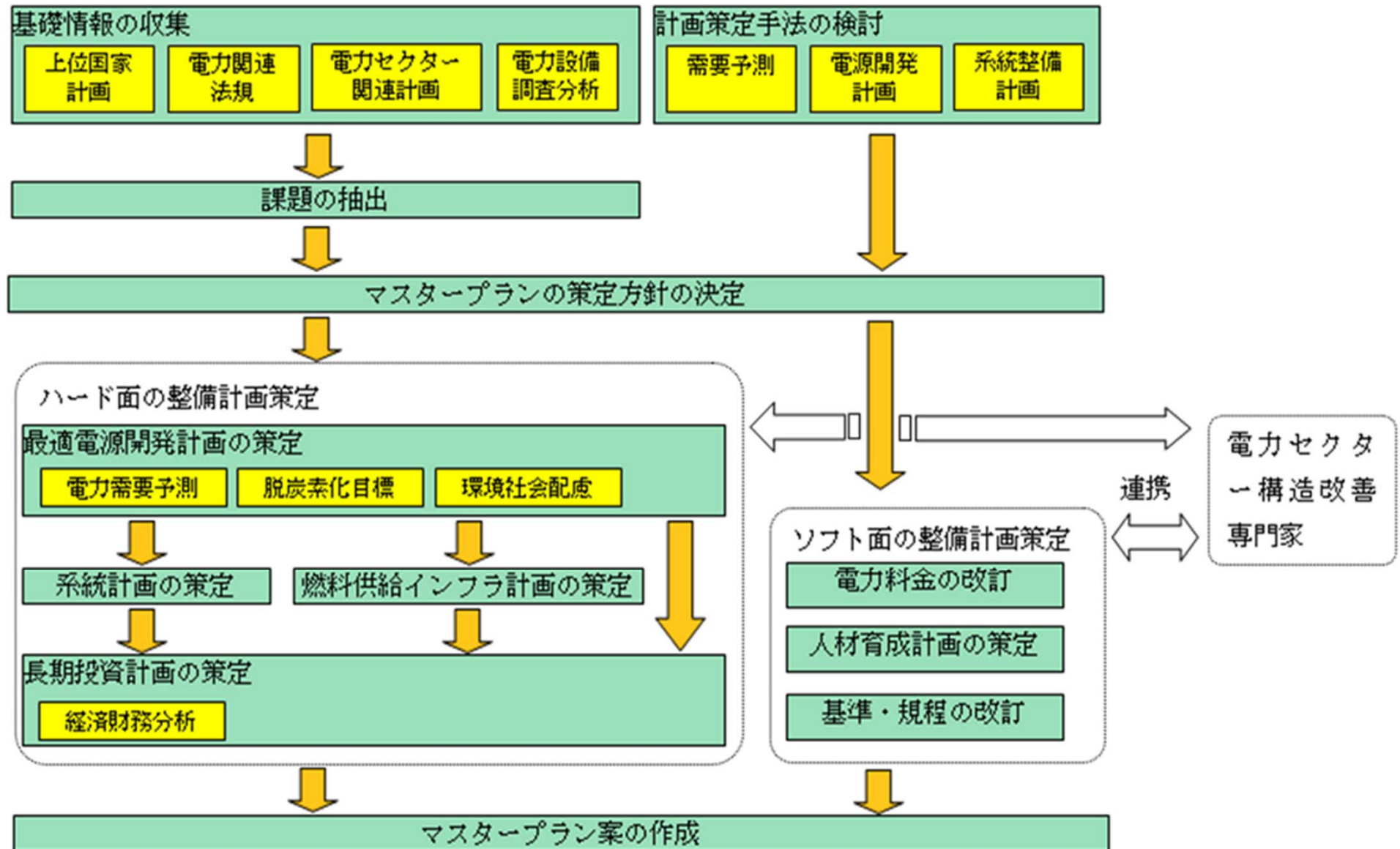
出典：調査団にて作成



出典：調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

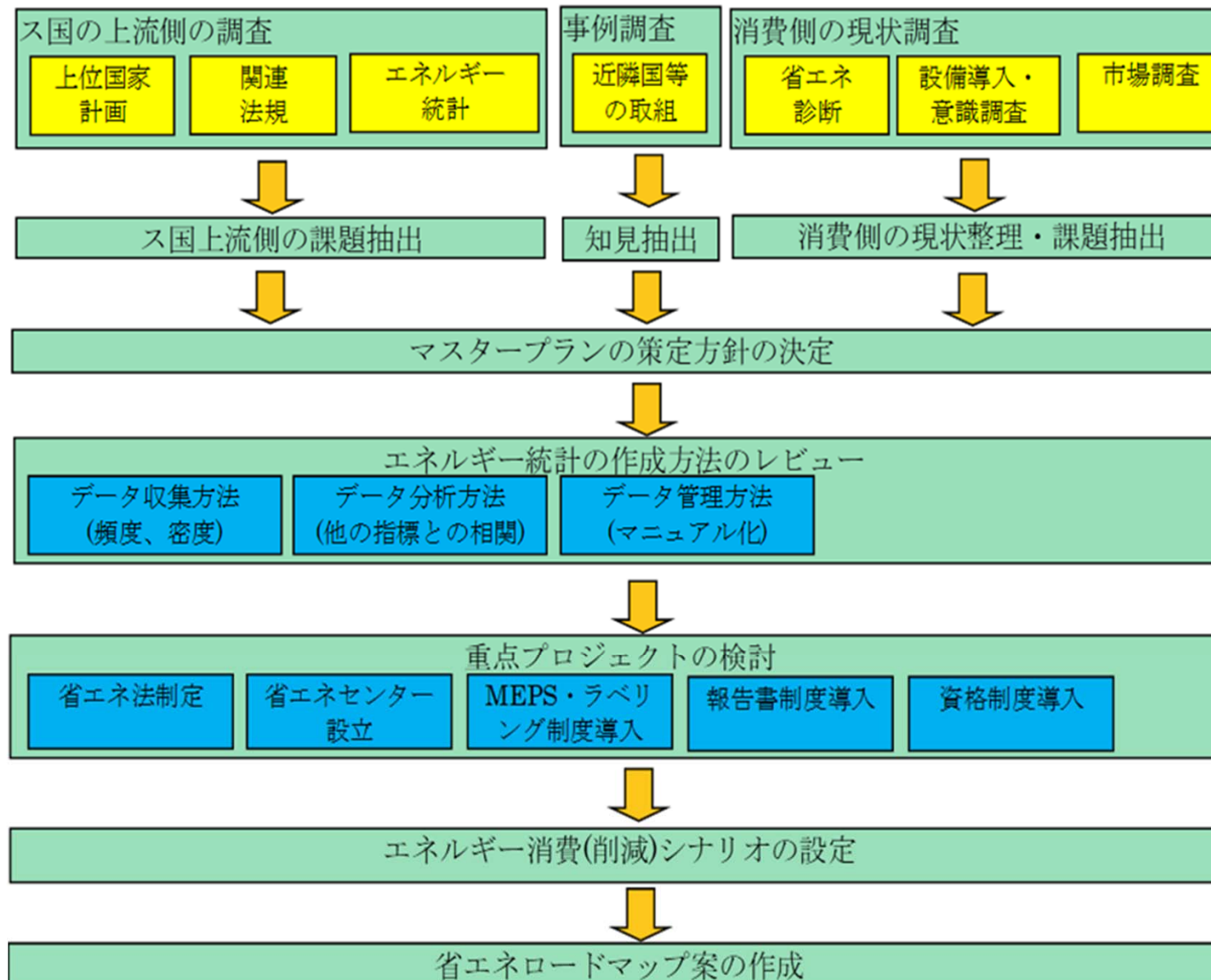
3.5 協力対象事業案の検討：電力セクター改革（電力セクターマスタープラン技術協力）



出典：調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

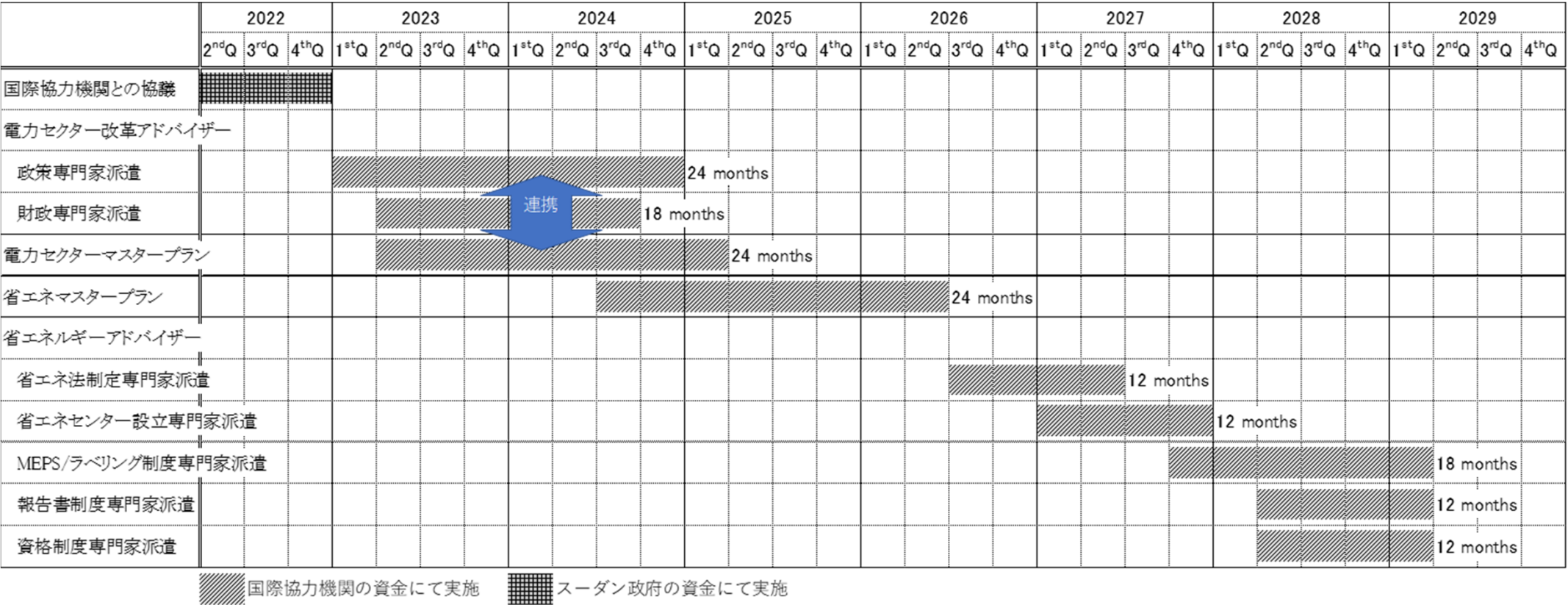
3.5 協力対象事業案の検討：電力セクター改革（省エネルギーマスタープラン技術協力）



出典：調査団にて作成

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：電力セクター改革（工程）



出典：調査団にて作成

セクター改革と電力MP連携（～2025年 1 Q）⇒ 省エネルギーMP展開（～2029年1Q）

3. スーダン共和国 電力セクター調査

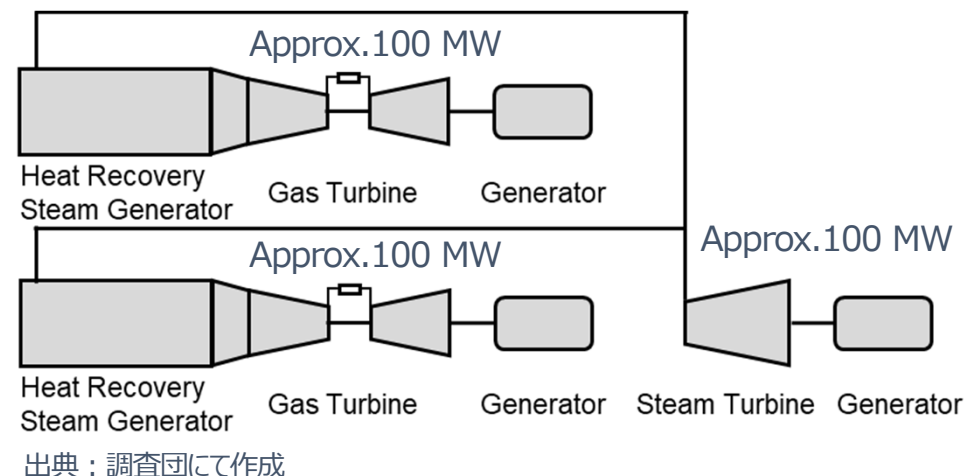
3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ 火力発電設備

項目	仕様
発電設備構成	Gas turbine combine cycle (GT×2, ST×1)
発電容量クラス	300MW
燃料	天然ガス

➤ 検討ケース

	建設サイト	燃料	復水器冷却方式	電力供給先
ケース①	ポートスーダン港近傍 or スアキン港近傍	Sunagas ガスパイプライン	海水冷却 (or冷却塔or空気冷却)	ハルツーム, ポートスーダン、 スアキン
ケース②		専用FSRU		
ケース③	マハムード・シェリフ 博士発電所遊休地	将来敷設 ガスパイプライン	冷却塔	ハルツーム



3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ サイト条件

項目	単位	ケース①およびケース②	ケース③
大気温度	℃	28	29.9
相対湿度	%	62.9	28.8
標高	m	14	385
大気圧力	hPa	1,011.5	967.8
冷却水温度	℃	28.7	23.7

ケース①およびケース②は海水冷却と仮定した。

出典：調査団にて作成

➤ GTCC性能

GTCC性能は非公開とした。

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ 配置図およびサイト候補地(ケース①およびケース②)



図 スーダン港近傍サイト候補地1



図 スアキン港近傍サイト候補地2

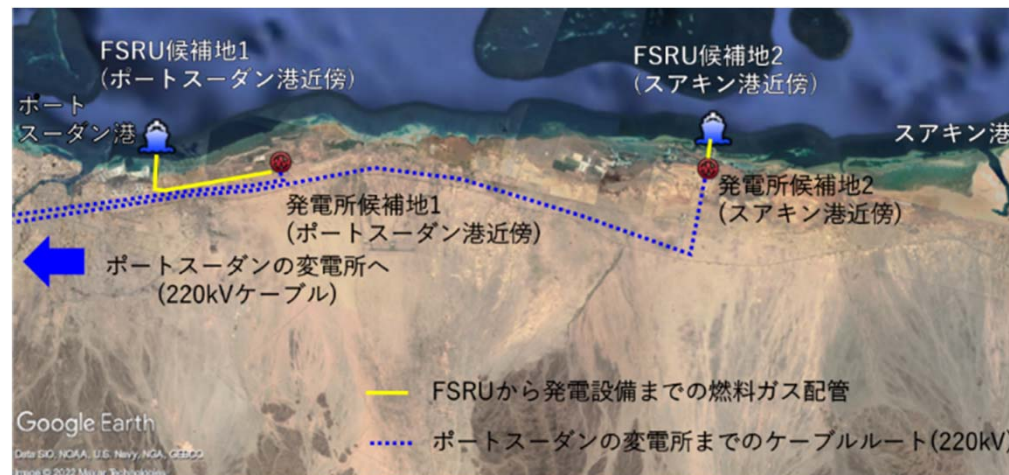


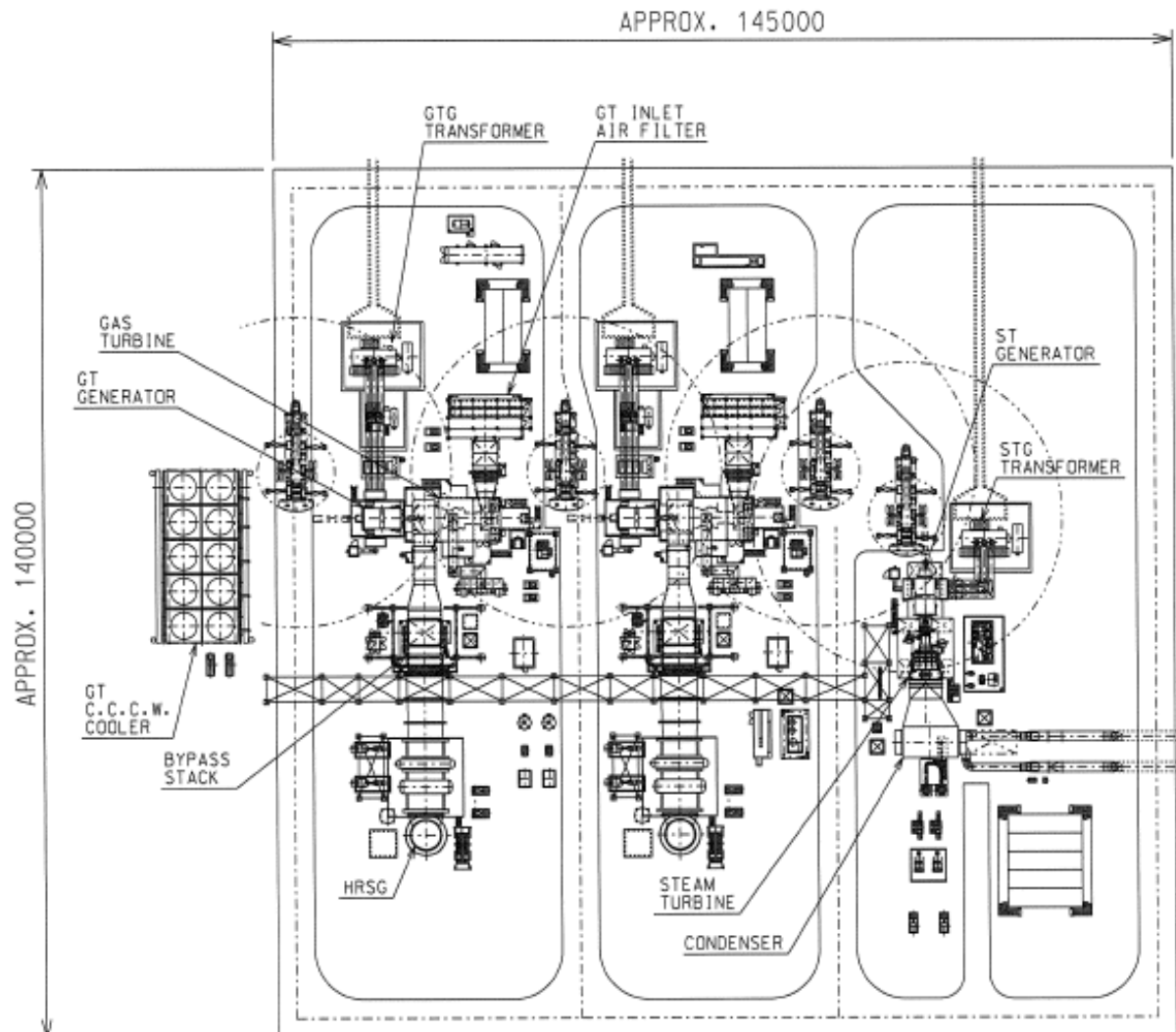
図 候補地の位置関係 (ケース②)

出典：Google Earthのデータを基に調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ 配置図およびサイト候補地(ケース①およびケース②)

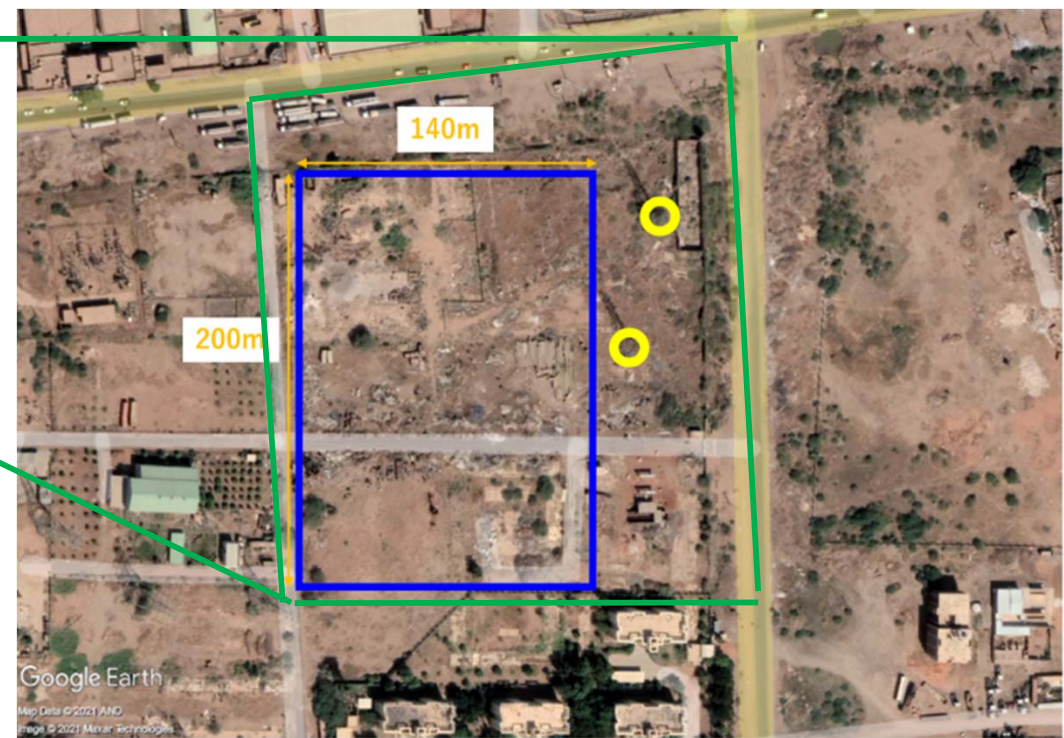
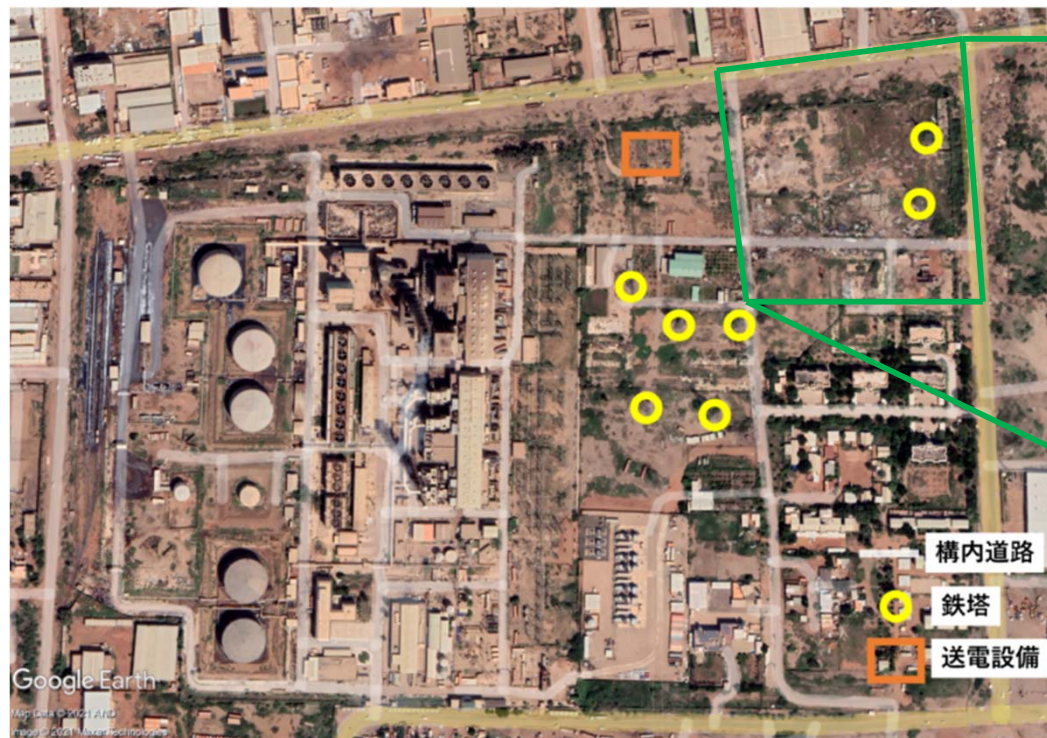


出典：三菱パワーにて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ 配置図およびサイト候補地(ケース③)

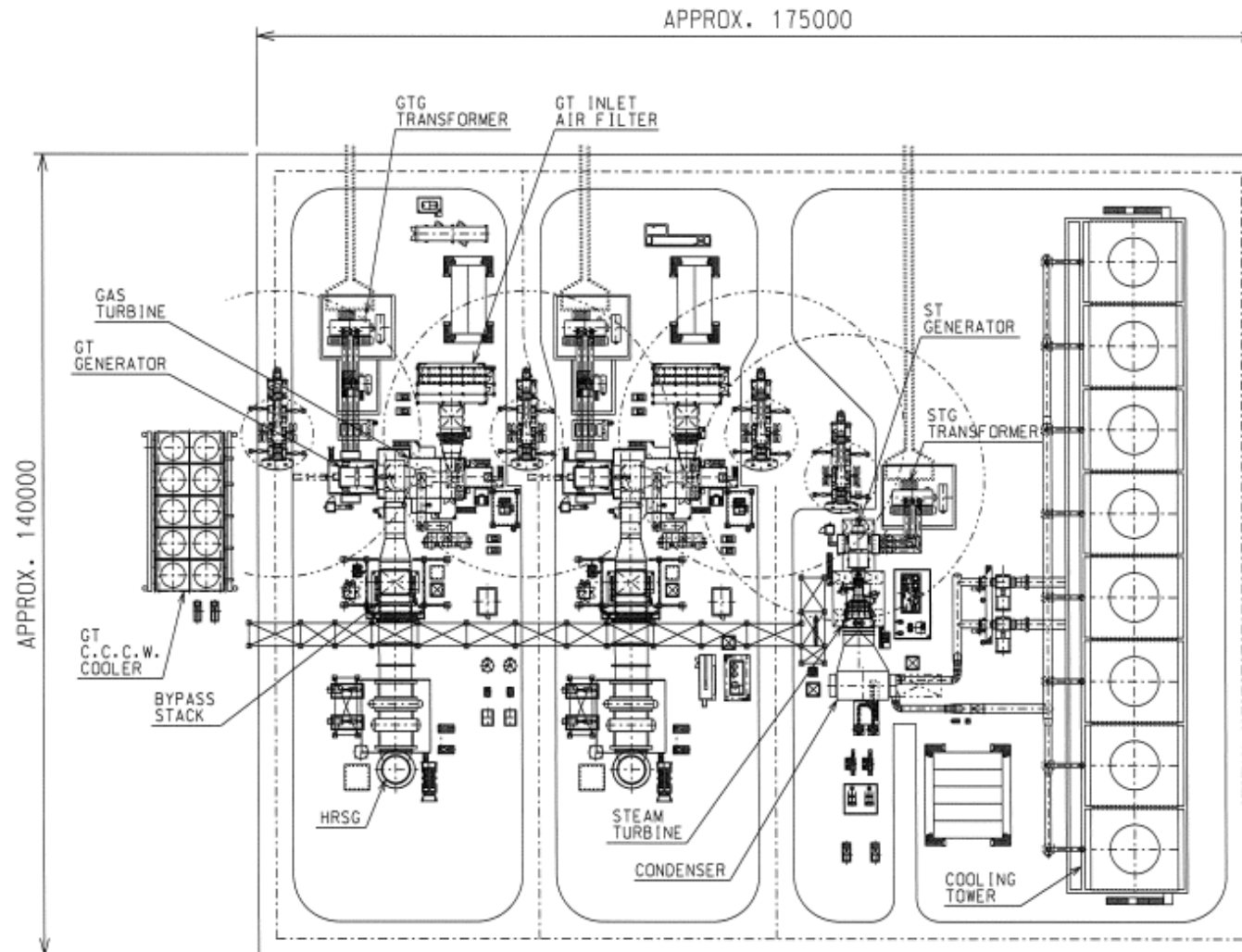


出典：Google Earthのデータを基に調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ 配置図およびサイト候補地(ケース③)



出典：三菱パワーにて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ GTCCに関する費用

費用の見積は非公開とした。

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：GTCC発電所の開発

➤ GTCCの導入工程案

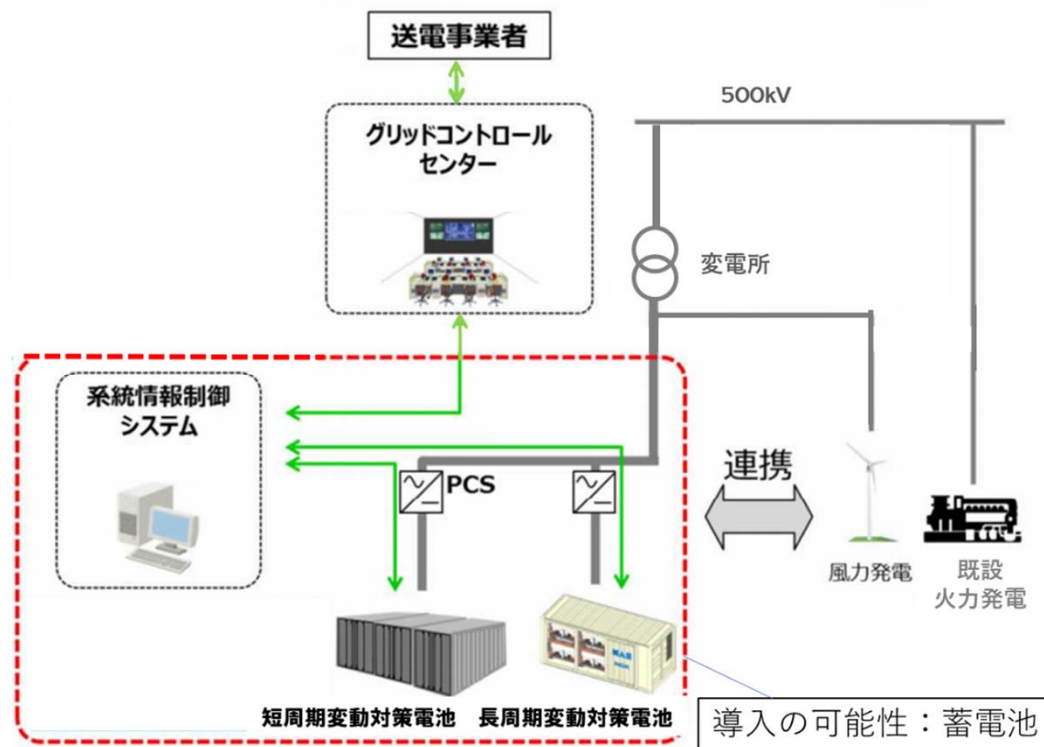
作業項目	2022年				2023年				2024年				2025年				2026年				2027年				2028年				2029年				2030年			
	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q					
FS（土質調査、基本設計、積算）																																				
資金調達（ローンの交渉）																																				
入札コンサルタントの選定																																				
入札資料の作成																																				
入札/落札者の契約交渉																																				
設計・調達																																				
GT建設																																				
GT試運転																																				
HRSG建設																																				
ST建設																																				
GTCC試運転																																				
運転																																				
ケース②の燃料供給システム																																				
FSRU建造および輸送																																				
LNGシステム（オプション 1）（契約～完工）																																				
LNGシステム（オプション 2 & 3）（契約～完工）																																				
	国際協力機関の資金にて実施							スーダン政府の資金（借款にて調達）にて実施							応札者の資金にて実施																					

出典：調査団にて作成

導入工程は短縮できる可能性あり

3. スーダン共和国 電力セクター調査

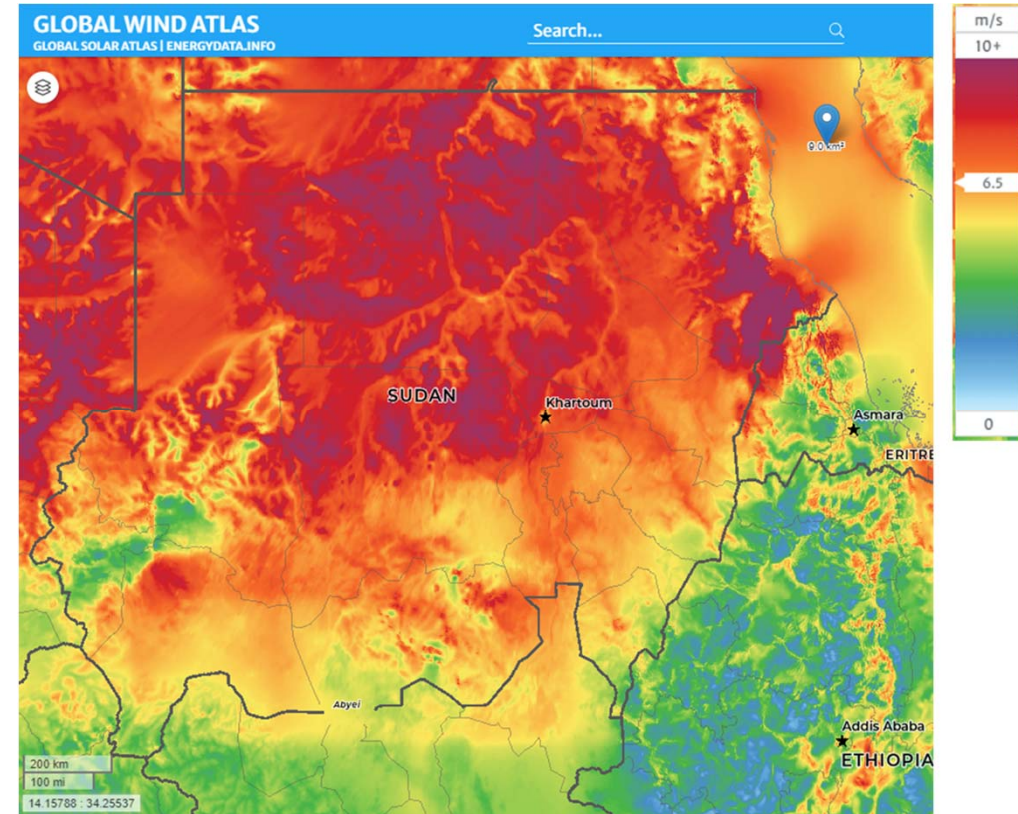
3.5 協力対象事業案の検討：風力発電所に付帯した蓄電池



出典：「独国ニーダーザクセン州大規模ハイブリッド蓄電池システム実証事業」報告書，NEDOに基づき調査団にて作成

風力発電所に付帯した蓄電池

- ✓ 再生可能エネルギー導入に伴う大課題
→ 電力品質低下
- ✓ 短周期変動は蓄電池の劣化を早める。
→ 従来のBESSでは、複数回の蓄電池交換が必要
→ 日本の蓄電池は、短周期変動に強
→ 解決策として、短周期と長周期の蓄電池を分離

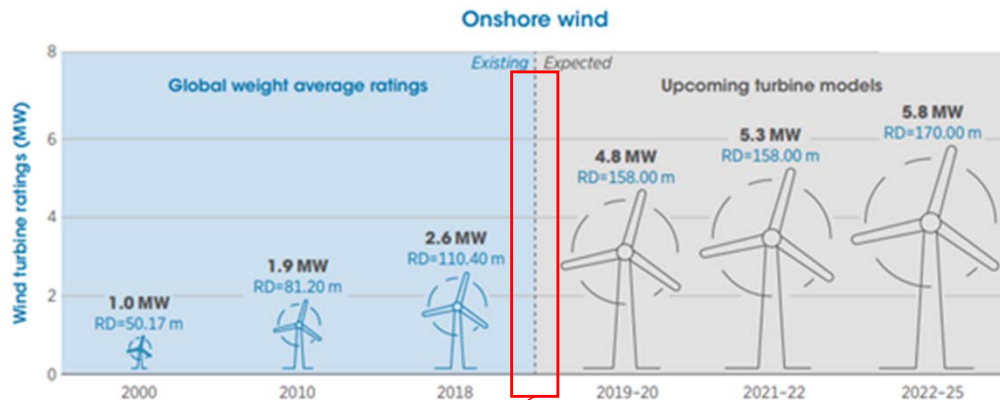


出典：Global wind Atlasのウェブサイトからス国近辺、地上高 100 m を検索
ス国の風況の推定 (地上 100 m)

- ✓ **ス国の北部は風力が有望。**(風速6.5 m/秒以上)
- ✓ 風力は広い敷地が必要。ウィンドパークとするために、MWクラスの風力を適切な間隔で設置。
→ 使用されていない広い土地を探す必要
- ✓ 系統側の制限により**設備容量 = 300 MW**
→ 一般に送電容量(ス国では3.5 GW)の10%以下

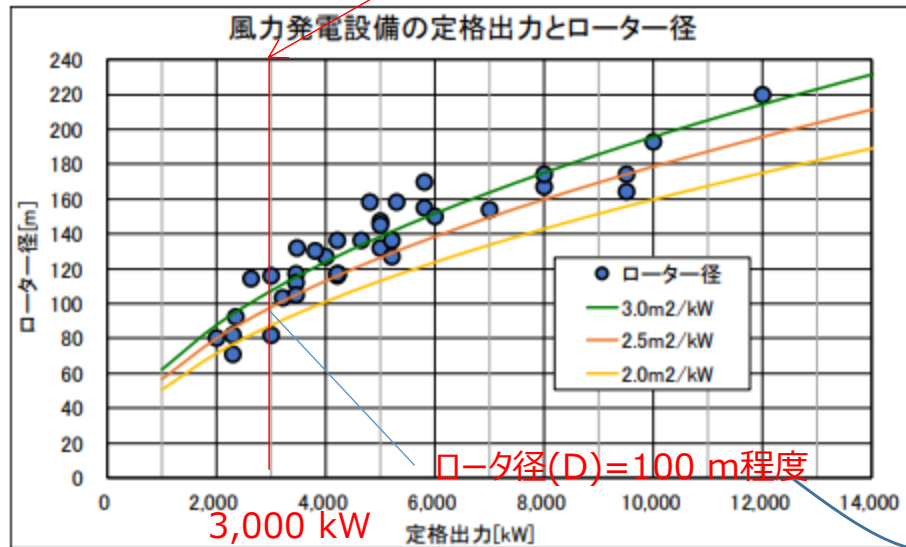
3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：風力発電所に付帯した蓄電池



出典：Wind Power Monthly, IRENA, 2019

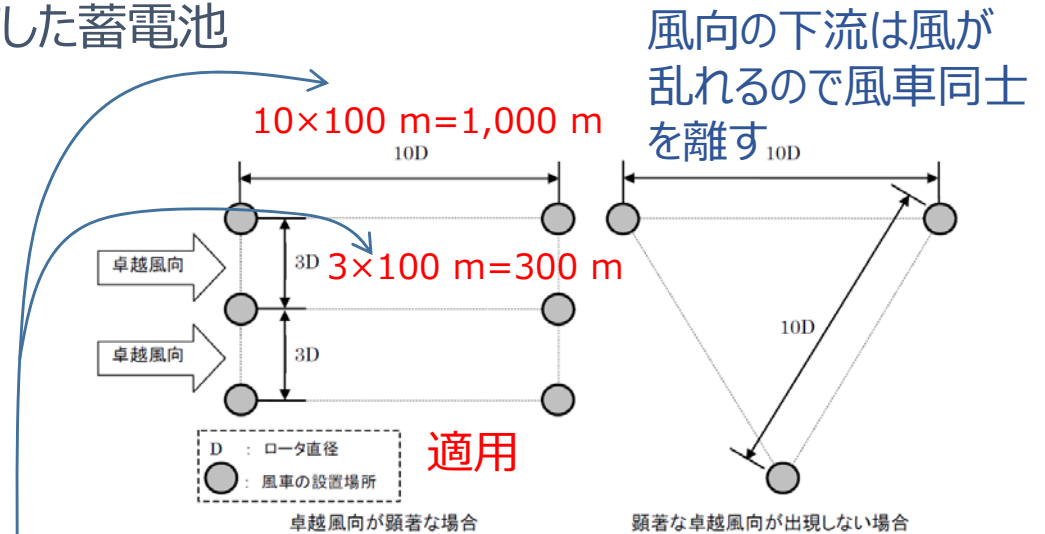
風力発電設備の大型化



出典：令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書、環境省

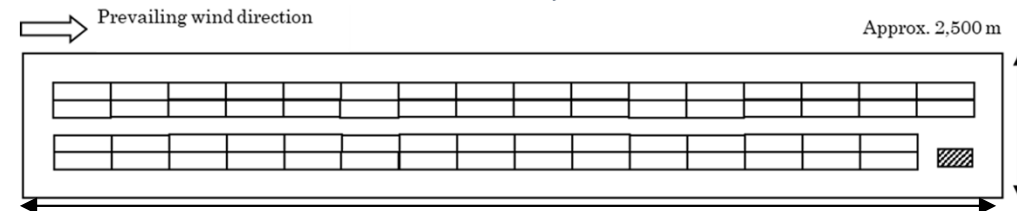
風力発電設備の定格出力とローター径

単機容量大 → 風車のブレード大、タワー高



出典：風力発電ガイドブック, NEDO, 2008

風力発電設備の風車の配置方法



出典：調査団にて作成

300 MW 風力発電設備の風車の配置

容量	300 MW
単機容量	3 MW/基
台数	100 基
必要面積	42.5 km ² (=17.0 km x 2.5 km)

出典：調査団にて作成

輸送上の制限で単機容量は2～5 MWが主流

本調査では3 MWを提案

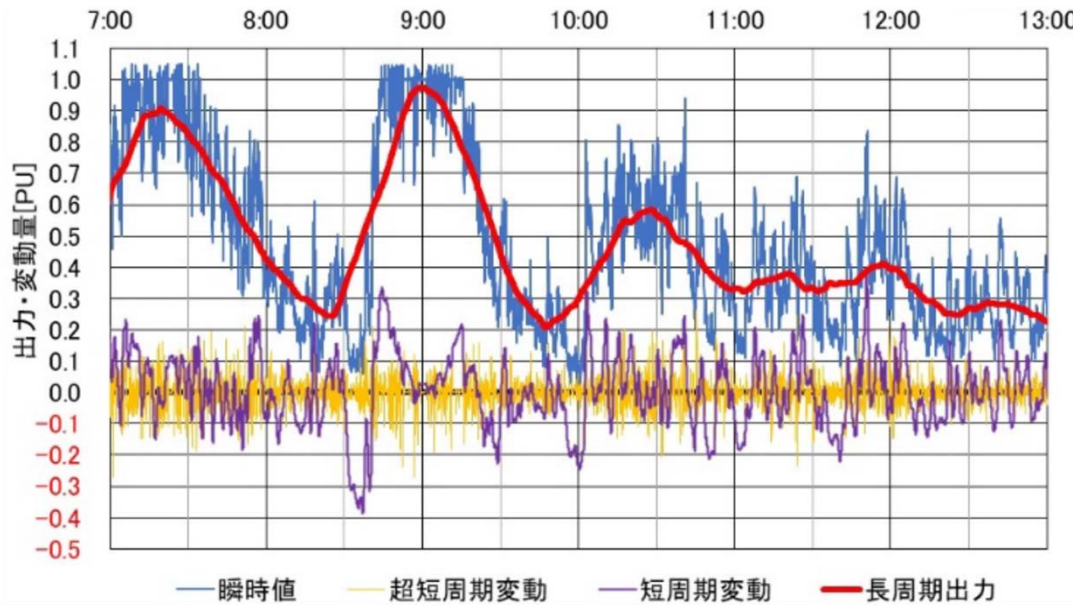
300 MWで42.5 km²程度必要

300 MWクラス年間発電電力量 = 788,000 MWh/y

Proprietary & Confidential

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：風力発電所に付帯した蓄電池

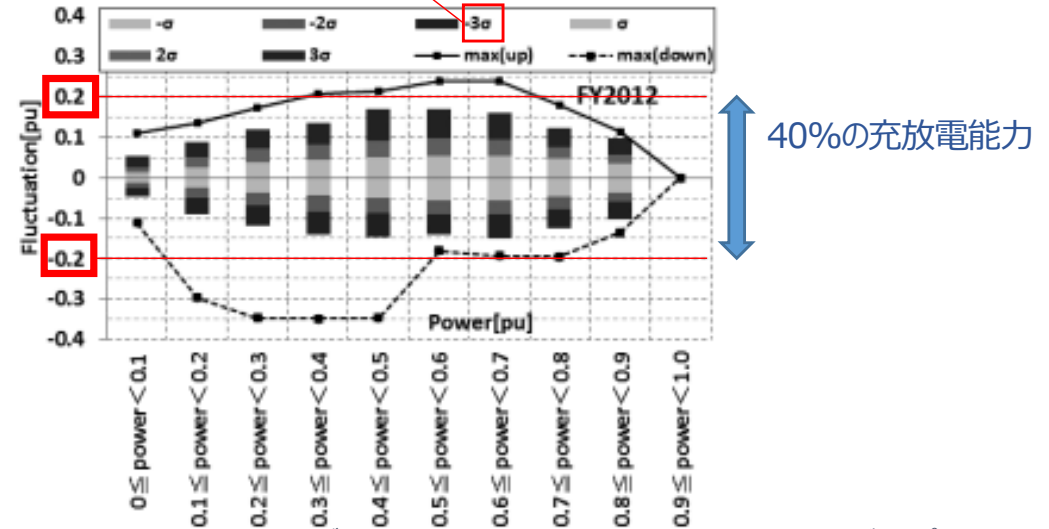


出典：風力発電と太陽光発電の出力特性と両者の出力相関，新エネルギー財団，2020
風力発電の出力と出力変動例

- ✓ 短周期変動は急激に大きく変動する。
- ✓ 蓄電池は中間位置で待機していて、風力発電の出力が急増するときに電力を吸収、出力が急減するときに放出する。
- ✓ 蓄電池充放電電力は風力発電出力の40%程度。
→ 120 MW = 300 MW × 40%
- ✓ 蓄電池容量は蓄電池の充放電を0.5時間継続する能力。
→ 60 MWh = 120 MW × 0.5h

3σの範囲を超える事象の発生確率は0.27%

3σの範囲を対応すれば十分→発電出力の+20%から-20%



出典：再生可能エネルギーの大量導入に向けた風力発電の短周期およびランプ変動の分析，生産研究 69巻第1号
風力発電の短周期変動

- ✓ 長周期変動に対しては、120 MW、480 MWhと想定した。
- ✓ ただし、本調査での推定は仮定に基づく推定に留まる。



- ✓ 次のFSにおいて電力系統解析に基き改めて検討・設定が必要
(系統の情報が必要)

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：風力発電所に付帯した蓄電池

費用の見積は非公開とした。

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：風力発電所に付帯した蓄電池

	2022			2023				2024				2025				2026				2027				2028				2029				2030													
	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q	1 st Q	2 nd Q	3 rd Q	4 th Q														
FS実施																																													
調査会社選定																																													
FS																45 months	風況調査の実施を伴う保守的な想定に基づく。																												
建設資金準備																																													
借款交渉																12 months	入国と資金提供者との交渉による。																												
借款契約締結 (LA)															▽																														
入札																																													
入札コンサル選定																				12 months	日本の借款の標準期間。																								
入札資料の作成								設計図書と契約書など入札資料の作成												9 months																									
入札/落札者の契約交渉																									9 months	日本の借款の標準期間。																			
建設契約締結																									▽																				
建設																	他事例での典型期間。				33 months																								
運用																	運用開始までに送電線の準備が整っている必要がある。																	順次運開											

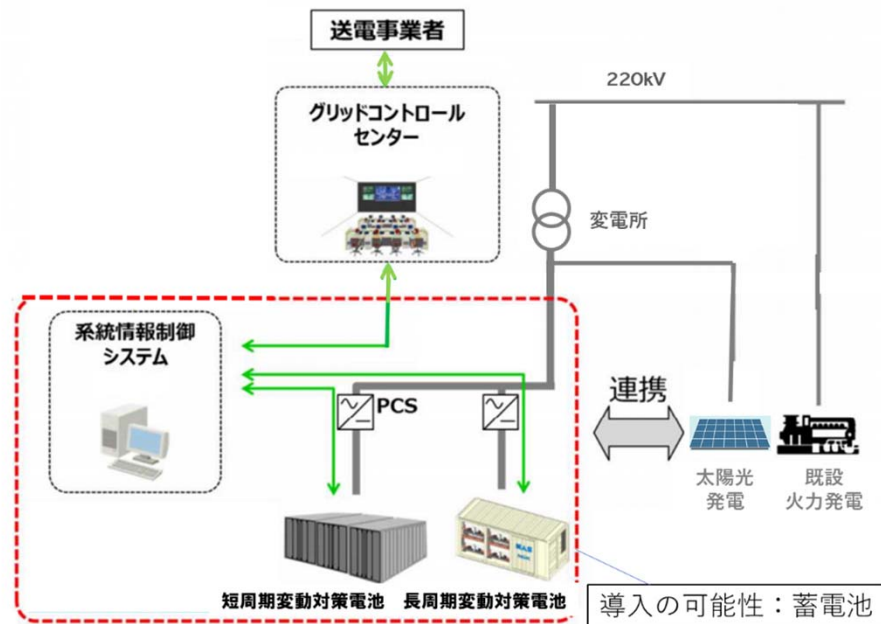
国際協力機関の資金にて実施 スーダン政府の資金(借款にて調達)にて実施 応札者の資金にて実施

出典: 調査団にて作成

運用開始までのリードタイムの短縮は可能

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：太陽光発電所に付帯した蓄電池



出典：調査団にて作成 太陽光発電所に付帯した蓄電池

✓ 風力発電と同様、短周期と長周期の蓄電池が望まれる。

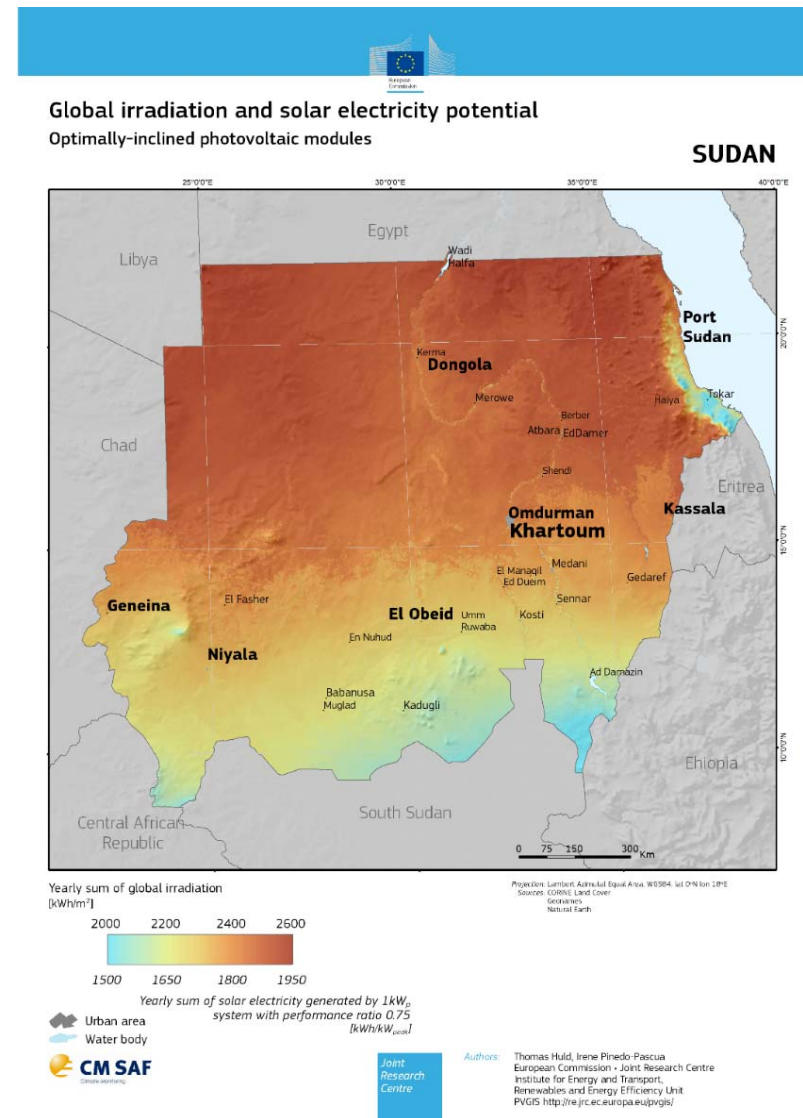
✓ ス国の北部は太陽光が有望。(2,400 kWh/m² 以上)

✓ 太陽光は広い敷地が必要。メガソーラーとするために、小容量の太陽光モジュール(1枚400 W程度)を莫大な数量にて連結。

→ 使用されていない広い土地を探す必要

✓ 系統側の制限により設備容量 = 300 MW

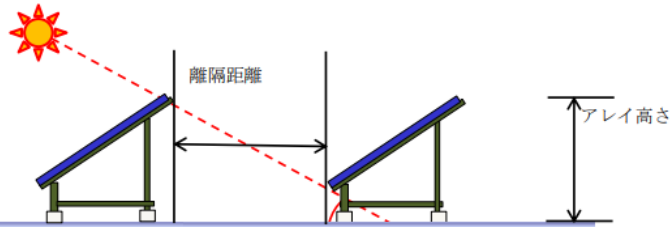
一般に送電容量(ス国では3.5 GW)の10%以下



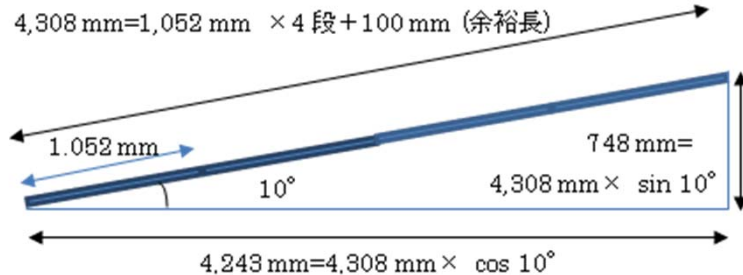
出典：Photovoltaic Geographical Information Systemのウェブサイトからス国のデータ
ス国の日照

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：太陽光発電所に付帯した蓄電池



出典：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン, 2019年, NEDO



出典：調査団にて作成

傾斜角 20°程度で最も発電
 角度が急 → 必要離隔距離が長
 角度が急 → 架台への風荷重が大
 角度が緩 → 雨での洗い流しが少

さまざまな傾斜角でシミュレーションが必要

10°での設置が最適

300 MWだと3.70 km²程度の敷地

300 MWクラス年間発電電力量 = 546,000 MWh/y 年間で取得する太陽光エネルギー (北緯17°東経27°。単位 kWh/m²)

太陽光モジュール出力	a	375 W						備考
モデル発電所容量	b	1 MW						
必要枚数	c=b × 1,000,000/a	2,667 枚						小数点以下切上げ
1架台の長手方向での長さの上限	d	100 m						1架台を100m以下とした
モジュール寸法 (L)	e	1,769 mm						東芝TA60E375WA/H想定
モジュール寸法 (W)	f	1,052 mm						東芝TA60E375WA/H想定
1架台の長手方向での枚数	g=d × 1,000/e	56 枚						
架台の長手方向の長さ	h=e × g/1,000	99 m	99 m	99 m	99 m	99 m	99 m	小数点一位四捨五入
傾斜角	i	10°			20°			
1架台の短手方向での枚数	j	3 枚	4 枚	5 枚	3 枚	4 枚	5 枚	
1架台内の枚数	k=g × j	168 枚	224 枚	280 枚	168 枚	224 枚	280 枚	
架台数	l=c/k	16 架台	12 架台	10 架台	16 架台	12 架台	10 架台	小数点以下切上げ
余裕長	m	100 mm						
架台の短手方向の水平投影長さ	n=(f × j+m) × cosi	3,207 mm	4,308 mm	5,360 mm	3,060 mm	4,308 mm	5,360 mm	小数点以下切上げ
架台の高さ	o=(f × j+m) × sini	566 mm	749 mm	931 mm	1,114 mm	1,474 mm	1,834 mm	
短手方向の影の長さ	太陽高度角より	904 mm	1,196 mm	1,487 mm	1,779 mm	2,354 mm	2,929 mm	冬至の8時、16時
架台間の離隔	p	1,500 mm	1,500 mm	1,500 mm	1,779 mm	2,354 mm	2,929 mm	最低1,500 mmを確保
敷地面積(架台群)の長手方向	q=h	99 m	99 m	99 m	99 m	99 m	99 m	
敷地面積(架台群)の短手方向	r=(n*l+p*(l-1))/1,000	74 m	69 m	68 m	76 m	78 m	80 m	
管理道路の幅	s	14 m						
敷地面積の長手方向	t=q+2*s	127 m	127 m	127 m	127 m	127 m	127 m	架台の四囲に管理用道路
敷地面積の長手方向	u=r+2*s	102 m	97 m	96 m	104 m	106 m	108 m	同上
敷地面積	v=t*u	12,954 m ²	12,319 m ²	12,192 m ²	13,208 m ²	13,462 m ²	13,716 m ²	

容量	1 MW	300 MW
モジュール容量	375 W/枚	375 W/枚
枚数	2,667 枚	800,100 枚 (=300 × 2,667)
必要面積	12,319 m ² (=127 m × 97 m)	3.70 km ² (≒3,695,700 m ² =300 × 12,319)

出典：調査団にて作成

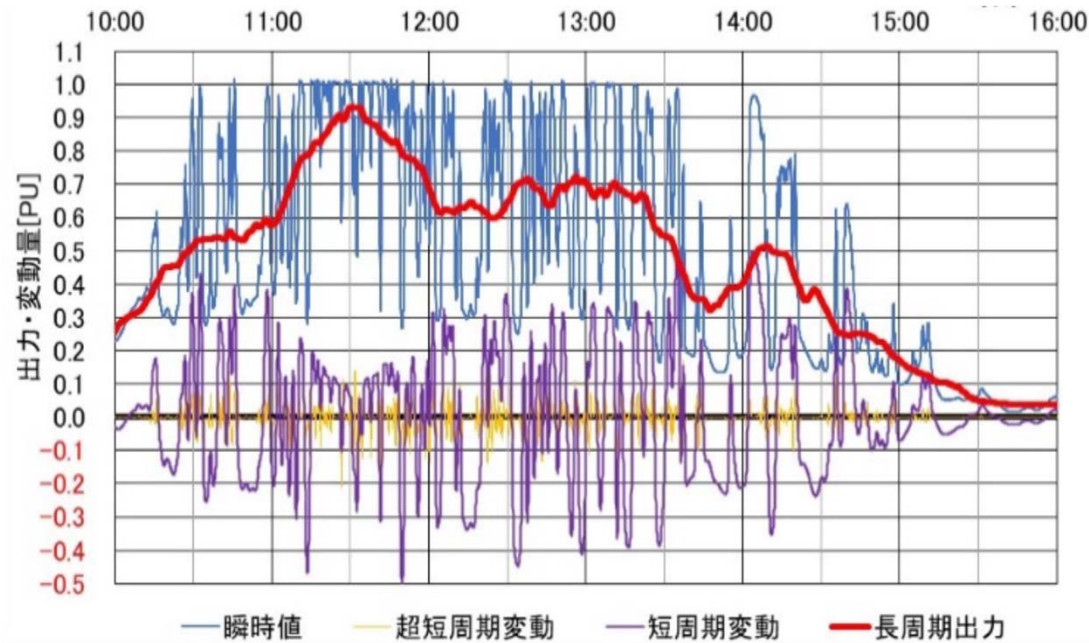
太陽光発電所に必要な敷地の試算

傾斜角	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
10°	200.37	205.55	239.07	237.53	236.41	223.43	218.74	208.73	213.28	218.60	203.20	196.83	2,601.74
20°	217.63	217.57	243.00	231.56	223.26	207.76	205.65	201.97	213.34	227.40	219.82	216.52	2,625.46
30°	229.44	224.15	241.03	220.25	205.13	187.84	188.39	191.00	208.58	230.75	230.91	230.72	2,588.18
40°	235.35	225.00	233.11	203.62	182.33	163.71	166.99	175.87	198.98	228.42	236.02	238.90	2,488.29

出典：調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：太陽光発電所に付帯した蓄電池



出典：風力発電と太陽光発電の出力特性と両者の出力相関，新エネルギー財団，2020

太陽光発電の出力と出力変動例

風力よりもさらに短周期変動が激しい

蓄電池充放電電力は発電出力の60%から80%程度

→本調査では80% (=240 MW = 300 MW × 80%)

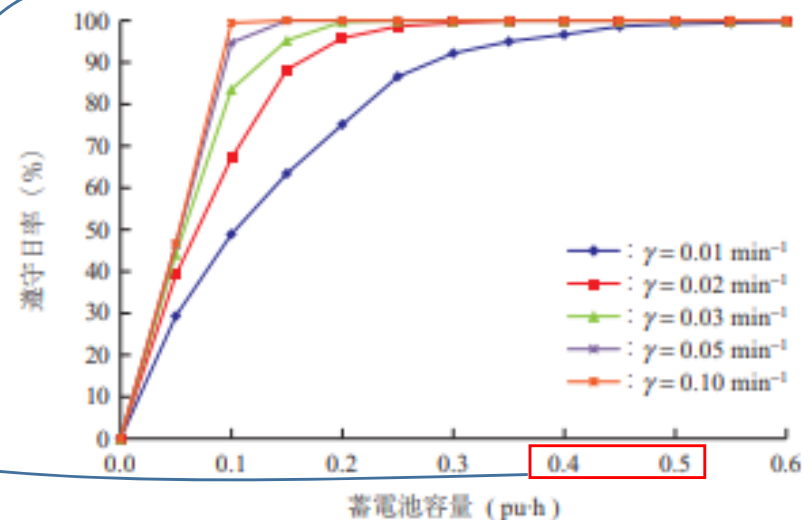
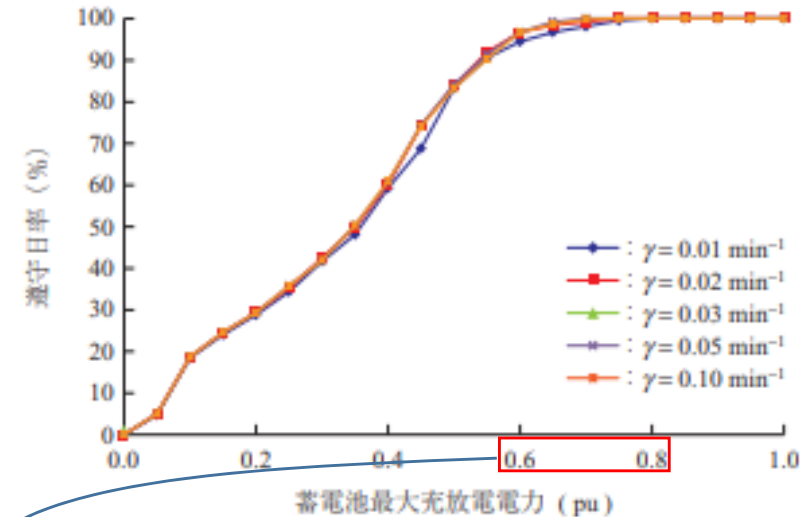
蓄電池容量は発電の定格電力量の40から50%程度

→本調査では50% (=150 MWh = 300 MWh × 50%)

長周期変動に対しては、60 MW、180 MWh



次のFSにおいて電力系統解析に基き改めて検討・設定が必要



出典：大規模太陽光発電所向け蓄電池制御技術の開発IHI技報 Vol. 55 No. 4 2015)

太陽光発電の短周期変動

Proprietary & Confidential

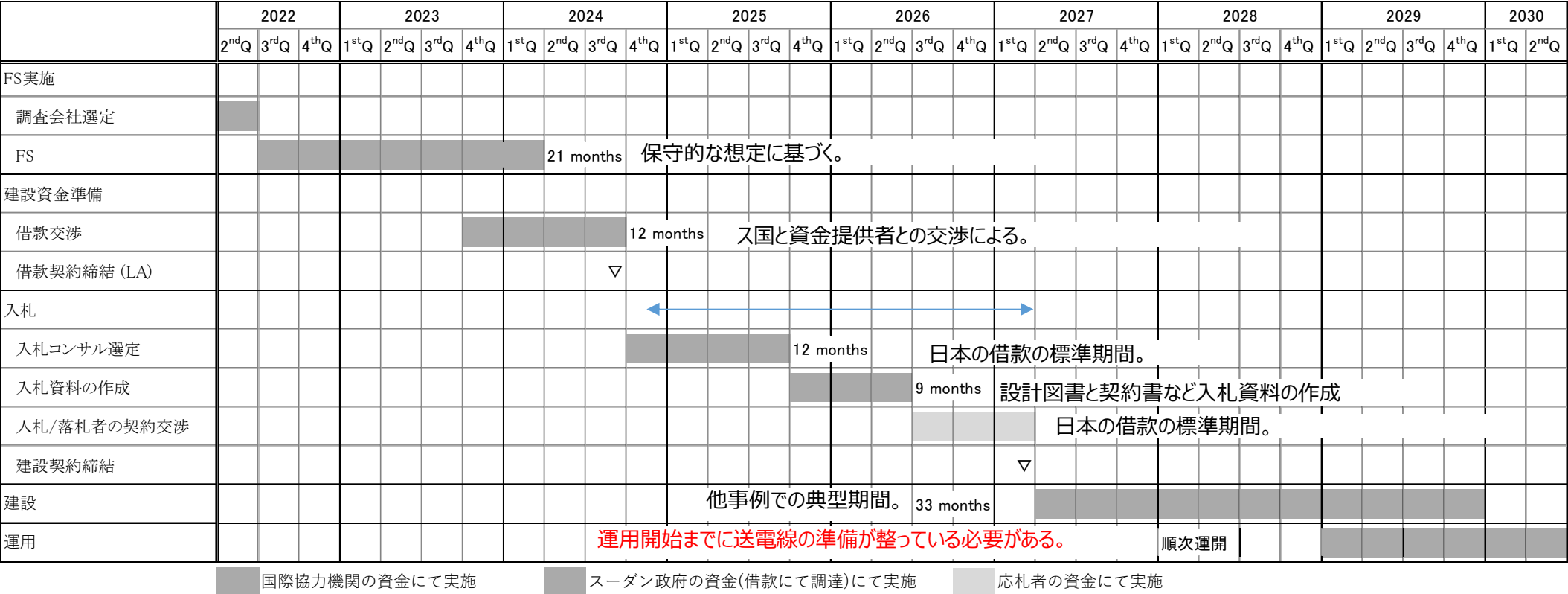
3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：太陽光発電所に付帯した蓄電池

費用の見積は非公開とした。

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：太陽光発電所に付帯した蓄電池



出典: 調査団にて作成

運用開始までのリードタイムの短縮は可能

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：低損失電線の導入

費用の見積は非公開とした。

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：増容量電線の導入

- ✓ 一般的に増容量電線は、電圧階級が低く（154 kV以下）、人口密集地のように新たに鉄塔を新設することが難しい区間に適用されることが多い
- ✓ ス国の場合は、人口密集地の首都ハルツーム周辺にある66 kV送電線がこれにあたる
- ✓ 上記の中で、過負荷の送電線や送電容量を増やしたい区間に増容量電線の適用可能性がある。

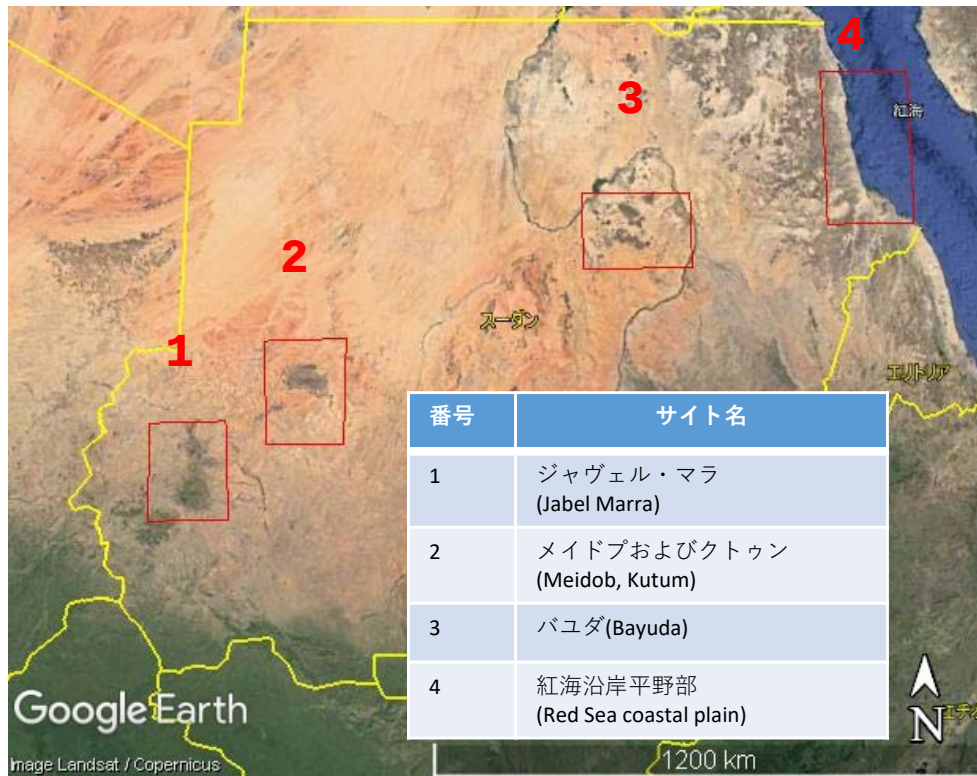
協力対象事業案	備考
首都ハルツーム周辺の66 kV送電線の更新	・左記の送電線の内、過負荷の送電線や送電容量を増やしたい区間は適用可能性が大きい。 ・既設鉄塔の状態は要確認

出典:調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：地熱開発調査

- ✓ ス国には4箇所の地熱ポテンシャルサイト
- ✓ バユダ(Bayuda)サイトは2011-2013年に地熱開発の初期調査が行われている。
- ✓ 現時点で、規模は不明。地表調査が望まれる。



出典：Google Earthに 調査団が加筆

ス国の地熱有望サイトの位置

今後バユダサイトで地熱開発を行う場合、地表調査～運転開始までは最短で6年と見積もられるが、通常は資金の調達や環境社会配慮調査・手続き等の期間を含むため、10-15年程度の期間が必要となる。

実施項目	年数						
	1	2	3	4	5	6	7 完成後
1 初期調査	←→						
既存情報収集	—						
全国ポテンシャル調査	—						
有望開発地域の選定	—						
許可・認可取得	—						
調査計画の策定	—						
2 地表調査	←→						
地質調査	—						
物理探査	—						
地化学調査	—						
電磁気(MT/TEM)探査	—						
構造井・スリムホール掘削	—						
微小地震計測	—						
プレ・フィージビリティ調査	—						
3 試掘調査		←→					
スリムホール掘削		—					
フルサイズホール掘削		—					
坑井試験		—					
干渉試験		—					
貯留層シミュレーション		—					
4 開発計画策定		←→					
資源評価・開発計画策定		—					
フィージビリティ調査・EIA		—					
生産井掘削計画策定		—					
発電所・構造物設計		—					
売電価格の検討・決定		—					
5 生産井掘削			←→				
生産井戸掘削		—					
還元井戸掘削		—					
冷却水用井戸掘削		—					
坑井シミュレーション		—					
貯留層シミュレーション		—					
6 発電施設建設				←→			
地熱流体パイプライン		—					
発電プラント・冷却塔		—					
変電施設等		—					
7 試運転・運転開始						←→	
8 運営維持管理							←→

出典：World Bank/ESMAP Geothermal Handbook

地熱開発のリードタイム

Proprietary & Confidential

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.5 協力対象事業案の検討：安定燃料供給（GTCC専用FSRU導入）

背景：

Sunagasは、ポートスーダン港付近にLNGターミナルの建設と運営を計画

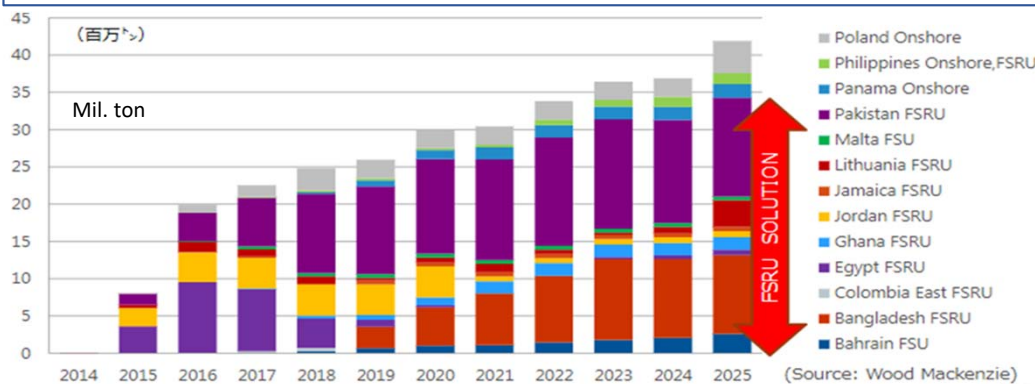
現時点の迄の調査において、次の点が確認された。

- プロセスに関するFEED完了
- パイプラインに関するFEED完了
- 浚渫工事の一部着手
- **現在、資金難により中断**

FEED: Front End Engineering Design(基本設計)

FSRUの特徴：

- **低初期費用（CAPEX）**
- **短工期**
- **リース、新造船、あるいは改造船**

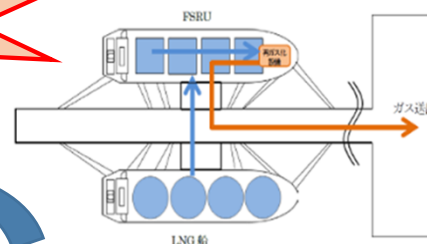


出典：平成29年エネルギー・鉱物資源に関する在外公館戦略会議資料
“FSRUビジネスモデルの課題とその解決に向けて” 2018年2月 (株)商船三井

2014年以降LNGの輸入を開始した国での輸入量と受入方法

GTCC専用FSRU 建造

リスク



出典：平成29年エネルギー・鉱物資源に関する在外公館戦略会議資料
“FSRUビジネスモデルの課題とその解決に向けて” 2018年2月 (株)商船三井

FSRUのイメージ

項目	仕様
建造方法	新造船、あるいは改造船
容量	170,000 m ³
再ガス化容量 (ピーク)	800 mmscfd
再ガス化用海水	オープンループ
入渠間隔	5 年以上
荷役方法	フレキシブルホース
リロード	不可

出典：調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.6 事業実施枠組

(1) 事業規模の試算

費用の見積は非公開とした。

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.6 事業実施枠組

(2) 日本の円借款枠組みの概要

項目	基本理念
要請書	案件実施主体または政府機関からの調査の要請書が必要
審査/事業事前評価	ローンの資金提供者であるJICAやJBICなどの資金でFSを実施して審査
地域の制限	なし
貸付対象	電力セクターやインフラの建設プロジェクトなど
貸付範囲	オーナーズコスト、予備費も含めた本体事業費。付帯事業も交渉可能。
自己資金の必要性	借り手は15 %プロジェクト全体の費用のうち、一定割合 (一般的には15%程度)は自己資金 (市中銀行からの借付含む)にて準備する必要がある。
貸付条件	交渉により決定。 (a) 基本的に基本設計、入札補助、施工監理のコンサルタントの雇用が必要。(貸付対象内)当該コンサルタントの選定にあたってはJICAのコンサルタント選定ガイドラインに従う必要。 (b) EPCコントラクターの選定にあたってはJICA入札ガイドラインに従う必要。EPCコントラクターの選定にあたってはJICA入札ガイドラインに従う必要。2段階選定であり、最初の段階の資格審査で適格とされた事業者のみが次段階の入札に参加することができる。 (c) 建設にあたっては、JICA安全ガイドラインに従う必要 (a) 基本的に基本設計、入札補助、施工監理のコンサルタントの雇用が必要。(貸付対象内)当該コンサルタントの選定にあたってはJICAのコンサルタント選定ガイドラインに従う必要。

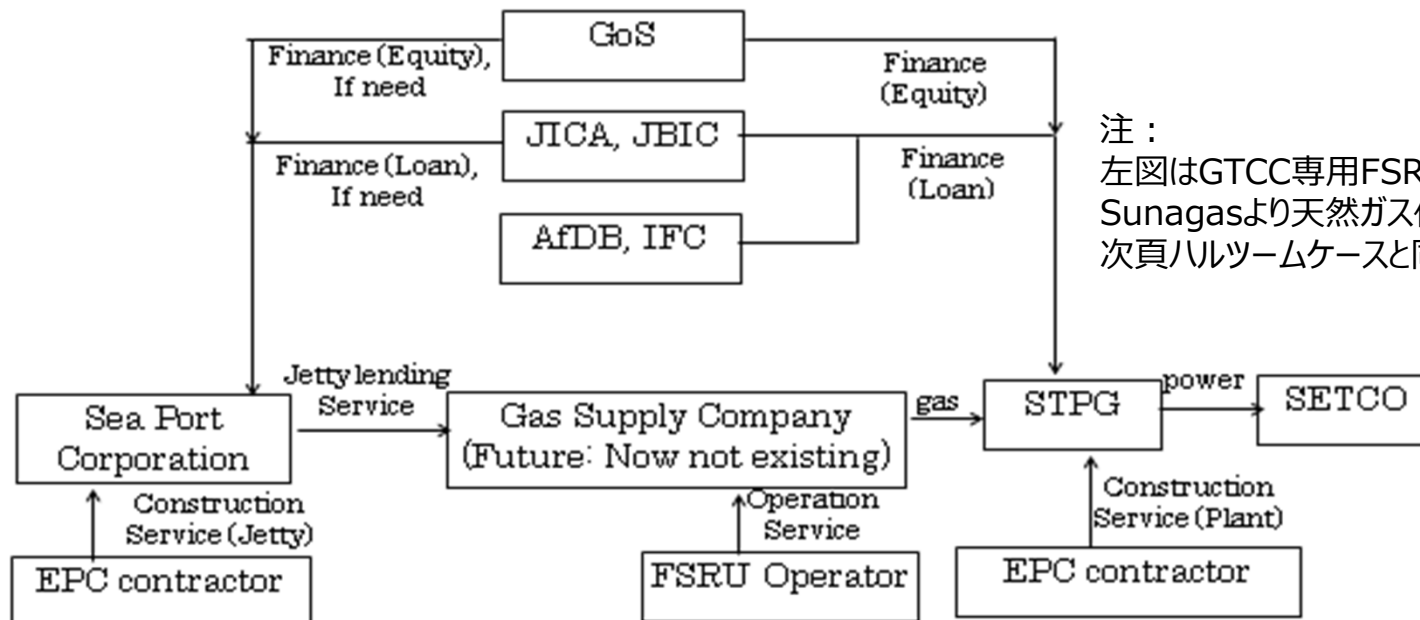
出典: 調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.6 事業実施枠組

(3) ポートスーダン港近傍もしくはスアキン港近傍でのGTCCプロジェクトの枠組み例

- ✓ 天然ガスインフラが深刻なボトルネック。
- ✓ 送電線も同様に深刻なボトルネック。
- ✓ 天然ガス運営会社は2022年1月時点で存在していない。
(Sunagasは天然ガス運営会社として有力候補ではあるが、設備無し)
- ✓ 借款を前提とする。
i.e. 日本による借款; 借款の範囲は交渉による。
- ✓ 返済は消費者からの料金徴収による。
- ✓ 詳細は次段階のFSにて検討。



注：
左図はGTCC専用FSRUを建設するケースを示す。
Sunagasより天然ガス供給されるケースでは
次頁ハルツームケースと同様

出典：調査団にて作成

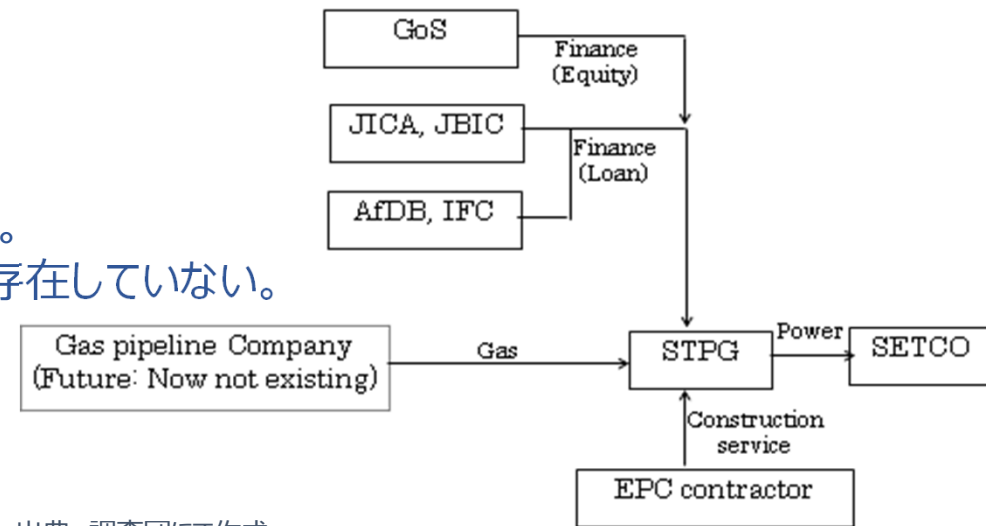
ポートスーダン港近傍もしくはスアキン港近傍でのGTCCプロジェクトの枠組み例

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.6 事業実施枠組

(4) ハルツームでのGTCCプロジェクトの枠組例

- ✓天然ガスインフラが深刻なボトルネック。
- ✓送電線はすでにある。
- ✓天然ガス運営会社は2022年1月時点で存在していない。
- ✓ハルツーム周辺に天然ガスインフラは2022年1月時点で存在していない。
- ✓借款を前提とする。日本による借款。
- ✓返済は消費者からの料金徴収による。
- ✓詳細は次段階のFSにて検討。

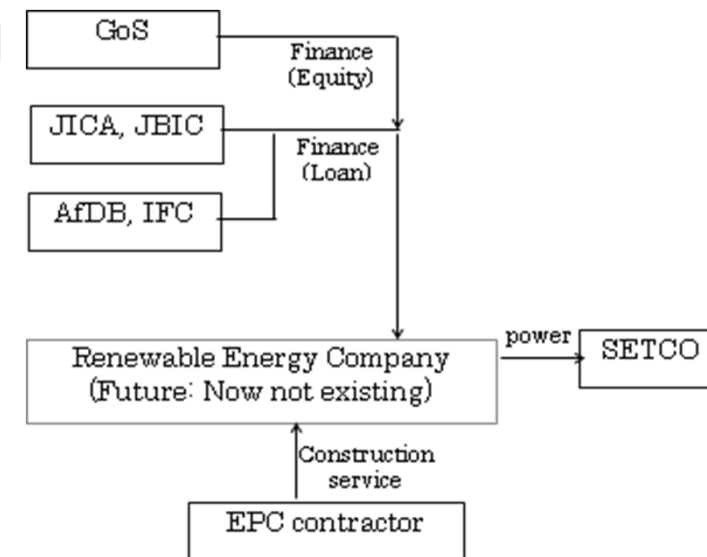


出典: 調査団にて作成

ハルツームでのGTCCプロジェクトの枠組例

(5) 再生可能エネルギー発電（風力、太陽光、地熱）プロジェクトの枠組例

- ✓建設管理、運営の主体が2022年1月時点で不在
- ✓ハルツーム近傍であれば送電線はすでにある
- ✓ハルツームから離れた場所に設置する場合には500 送電線の開発を同時に計画しなければならない。
- ✓借款を前提とする。日本による借款。
- ✓返済は消費者からの料金徴収による。
- ✓詳細は次段階のFSにて検討。



出典: 調査団にて作成

再生可能エネルギー発電（風力、太陽光、地熱）プロジェクトの枠組例

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.7 環境社会配慮

(1) ス国の環境社会配慮の枠組みの概要

- ✓ 環境保護法 (Environment Protection Act, 2001) に基いて環境社会配慮
- ✓ 環境・天然資源最高評議会(HCENR。首相が会長)が管轄
- ✓ EIAはハルツーム州EIA手続規則に準じる



円借款の場合

JICAのガイドラインや助言委員会からの要求も考慮

No.	分野	関係法令	所轄官庁
1	環境保護	Environment Protection Act, 2001	HCENR
2	ハルツーム州内の環境保護	Act of Environmental Protection and Promotion in the State of Khartoum, 2008	HCENR
3	ハルツーム州内の環境影響評価方法	Environmental Impact Assessment Regulations for Projects in Khartoum State, 2011	HCENR
4	漁業権	Fishing Act, 1937	HCENR
5	森林保護	Forest and Renewable Natural Resources Act, 2002	HCENR
6	野生動物保護	National Hunting and Fishing Protection Act, 1986	HCENR
7	ハルツーム州内の廃棄物処理	The list of hazardous wastes in the state of Khartoum, 2011	HCENR

出典: 調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.7 環境社会配慮

(2) ポートスーダン港近傍もしくはスアキン港近傍でのGTCCプロジェクトにおける環境社会配慮上の留意点

- ✓ 深刻な環境社会配慮の課題はないと想定
- ✓ ただし、マングローブの伐採に伴う環境や社会的な配慮は十分に考えるべき
- ✓ マングローブのために、NGOのワンアース などが保護活動
- ✓ 詳細については、別に実施するFSの中でEIAを実施

No.	項目	想定される環境社会影響
1	土地の造成	造成および浚渫が必要となり、海岸における生態系へ影響
2		マングローブ林伐採による地域の経済活動への影響
3	取水・放水	取水は、魚卵や稚魚の吸い込みにより魚類の現象の原因になりうる。 放水は、海水温度の上昇や排水中のごみなどにより海岸の生態系に悪影響を及ぼす恐れがある。
4	窒素酸化物の排出	GTの燃料燃焼に伴いNOxが発生
5	二酸化炭素の排出	GTの燃料燃焼に伴い二酸化炭素 (Carbon Dioxides。以下CO2)が発生

出典: 調査団にて作成

(3) ハルツームでのGTCCプロジェクトにおける環境社会配慮上の留意点

- ✓ 深刻な環境社会配慮の課題はないと想定
- ✓ 詳細については、別に実施するFSの中でEIAを実施

No.	項目	想定される環境社会影響
1	河川からの取水	河川水の取得による環境影響。ただし、現時点で余剰の河川水の水利権が設定と想定
2	窒素酸化物の排出	GTの燃料燃焼に伴いNOxが発生
3	二酸化炭素の排出	GTの燃料燃焼に伴い二酸化炭素 (Carbon Dioxides。以下CO2)が発生

出典: 調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.7 環境社会配慮

(4) 風力発電所プロジェクトにおける環境社会配慮上の留意点

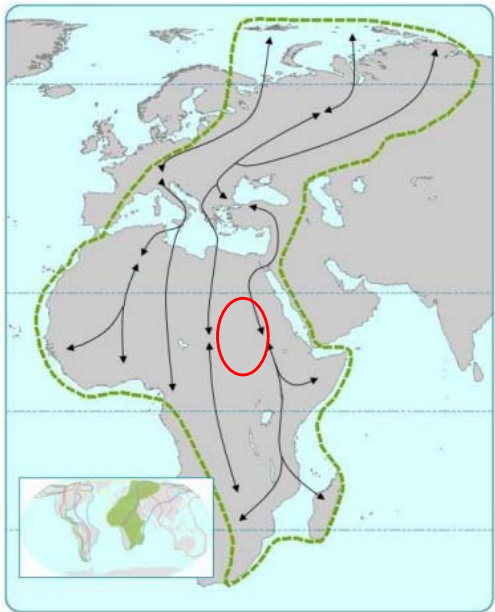
- ✓ 渡り鳥の生態影響が懸念される。(生息地の放棄、バードストライク)
- ✓ 900以上の鳥の生息が確認され、そのうち26種はIUCNの絶滅の危機に分類
- ✓ ス国は渡り鳥の経路でもある(コウノトリなど)
- ✓ 詳細については、別に実施するFSの中でEIAを実施

種別	該当種数
絶滅 (Extinct)	0
野生絶滅 (Extinct in the Wild)	0
近絶滅種 (Critically Endangered)	5
絶滅危惧種 (Endangered)	10
危急種 (Vulnerable)	11
準絶滅危惧種 (Near Threatened)	20
低危険種 (Least Concern)	870
データ不足 (Data Deficient)	1
計	917 (世界19位)

出典: 調査団にて作成



出典: バードライフインターナショナルウェブサイト
図 ス国の重要野鳥生息地



Flyways
Pacific Americas, East Atlantic, Eurasia/South Asia, Central Americas, Black Sea/Mediterranean, East Asia/Australasia, Atlantic Americas, Asia/East Africa
出典: バードライフインターナショナルウェブサイト
図 地中海/黒海周りをする渡り鳥の経路

No.	項目	想定される環境社会影響
1	鳥類の生態系への影響	生息地の放棄、バードストライク
2	騒音	風車騒音に含まれる振幅変調音や純音声成分等はわずらわしさを増加させる
3	景観	欧米では景観への影響への配慮の必要性が認識されている

出典: 調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.7 環境社会配慮

(5) 太陽光発電所プロジェクトにおける環境社会配慮上の留意点

- ✓ 深刻な環境社会配慮の課題はないと想定
- ✓ 詳細については、別に実施するFSの中でEIAを実施

No.	Item	Assumed impact regarding environmental and social
1	鳥類の生態系への影響	生息地の放棄
2	騒音	パワーコンディショナーからの騒音
3	景観	欧米では景観への影響への配慮の必要性が認識されている
4	反射光	日本では太陽光パネルの反射光によるまぶしさの影響による係争あり

出典: 調査団にて作成

3. スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向: 全体工程

注：PPF No: No. in Project Profile Form (2021-2026)、PS: ポートスーダン、KRT: ハルツーム
FS: Feasibility Study、Tndr: Tender、D &P: Design &Procurement

課題	PPF No.	項目	場所	規模	件数	本邦技術	22-23	24-25	26-27	28-29	30-31
電力セクター改革	電力構造改革										
	New	MP支援/専門家	全土	-	-	専門家	支援・専門家				
需要増加対応 (安定電源) (低OPEX/低炭素)	電力供給力向上										
	New	高効率GTCC	PS or スアキン	300MW	1	GTCC	FS Fund/Tdr D & P Construction				
	New	高効率GTCC	ハルツーム	300MW	1	GTCC	FS Fund/Tdr D & P Construction				
	11-14等	火力発電	PS・KRT等	2460MW	5	-	Fund ~ Construction				
	New	風力発電	北部 (想定)	300MW	1x3	蓄電池	FS Fund/Tdr D & P Const.				
	New	太陽光発電	北部 (想定)	300MW	1x4	蓄電池	FS Fund/Tdr D & P Const.				
	New	地熱発電	北部/紅海	Later	1	地熱					
	1,2,8等	水力、風力、太陽光	主に地方	1830MW	10	-	Fund ~ Construction				
電力アクセス 地方電化 電力品質向上	全ての国民に電気を & 電力強靱化										
	22-33	送電線等	全土	4065km	12	-	Fund ~ Construction				
	15-20	ディーゼル/太陽光	地方	180	7	-	Const.				
電力効率化	電力使用効率化と省エネ推進										
	New	MP支援/専門家	全土				支援・専門家				

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向：提案プロジェクト概要並びに次の段階での検討課題

1. 電力セクター改革：マスタープラン作成補助並びに専門家派遣

項目		概要	
主要課題と解決策		より進んだ電力セクター改革およびマスタープラン策定支援	
提案プロジェクト		電力セクター改革とマスタープラン作成への専門家派遣並びに技術協力	
対象機関		MoEP、SEHC、STPG、SETCO、SEDCなど。	
想定費用 (Mil USD)		非公開	
想定期間 (FS ~ 完了)		2023 ~ 2026 2Q (電力セクター改革& マスタープラン) 2026 3Q ~ 2028 (省エネマスタープラン)	
提案概要		電力セクター改革:従来型の電力セクター改革に加え、SDGsなどを考慮に入れた”より進んだ電力セクター改革”のための専門家派遣並びに技術協力。 電力セクターマスタープラン： 電力セクター改革と連携しつつより実現可能性かつ持続性のある電力セクターマスタープランおよび省エネルギーマスタープラン策定への技術協力とフォローアップ	
次の段階での検討課題			
No.	項目	No.	概要
1	全般	1	ス国側新戦略、法令、各種計画などの進捗を含む詳細調査。
2	技術品質	1	ス国側電力セクター新戦略を踏まえた、上位のロードマップ調査と検討。(政策面の支援是非の検討)
		2	本邦以外のドナーとの協調可否検討。
3	工程	1	最短工期検討。
4	資金/費用	1	本邦以外のドナーとの協調可否検討。
5	環境社会配慮	1	対象事業に対する具体的調査検討。
6	その他	1	ス国側国家戦略の把握と進捗確認。
		2	本邦以外のドナーの動向確認と協調可否検討。

出典：調査団にて作成

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向: 提案プロジェクト概要並びに次の段階(FS)での検討課題

2. 需要増加への対応: SunagasのLNGを活用した300 MWクラスGTCC

項目	概要
主要課題と解決	需要増加への対応 ⇒ 発電設備導入
提案プロジェクト	300 MWクラスGTCC + SunagasのLNG基地活用 (ポートスーダン港もしくはスアキン港近傍)
対象機関	MoEP、SEHC、STPG、SETCOなど
想定費用 (Mil USD)	非公開
想定期間 (FS ~ 完了)	2022 ~ 2030 (建設期間: 41 か月) (部分操業開始: 2030 1Q)
提案概要	出力100 MWクラスGT2基と出力100 MWクラスST1基を組合せたGTCC発電設備。ポートスーダン港近傍もしくはスアキン港近傍敷地面積(除く、取水設備)約28,000 m ² 。年間発電量約2,482 GWh/年。Sunagasが計画中のLNG基地からガス供給。直接海水冷却方式とし、近傍海岸より取水。発電所からポートスーダン変電所に220 kV送電線を敷設。

次の段階 (FS)での検討課題

No.	項目	No.	概要
1	全般	1	財務・資金及び工期を再考した 更なる複合発電や規模最適化検討 。
2	技術品質	1	建設候補地の選定。土木調査 (地質調査、地形測量) の実施。
		2	系統解析 。
		3	持続的長期安定運転のための水素混焼及びO & M支援案検討。
3	工程	1	全工期 短縮案 の検討。
		2	Sunagasプロジェクト並びに500 kV送電線の工程の確認 並びにGTCC工程との調整。
4	資金/費用	1	GTCC並びにガスインフラのCAPEX、OPEX、LCOE及びIRR等を含めた財務分析 。
		2	本邦を含め ドナーの協力体制、融資分担 の検討。
5	環境社会配慮	1	冷却方式を含む EIA(生態等)と社会配慮 を想定した調査。
		2	マングローブ 伐採の環境社会影響の検討、代替措置の検討。
6	その他	1	Sunagasの サプライチェーン、供給継続の確実性 の確認。
		2	Sunagas計画が 延期/中止された場合の代替案 の検討。

出典: 調査団にて作成

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向: 提案プロジェクト概要並びに次の段階(FS)での検討課題

3. 需要増加への対応: 300MWクラスGTCC及び専用FSRUの設置

項目	概要
主要課題と解決	需要増加への対応 ⇒ 発電設備導入
提案プロジェクト	300 MWクラスGTCC+専用FSRU (ポートスーダン港もしくはスアキン港近傍)
対象機関	MoEP、SEHC、STPG、SETCO など
想定費用 (Mil USD)	非公開
想定期間 (FS ~ 完了)	2022 ~ 2030 (建設期間: 41 か月) (部分操業開始: 2030 1Q)
提案概要	出力100 MWクラスGT2基と出力100 MWクラスST1基を組合せたGTCC発電設備。ポートスーダン港近傍もしくはスアキン港近傍敷地面積(除く、取水設備)約28,000 m ² 。年間発電量約2,482 GWh/年。本発電所専用にFSRUを設置しNG供給。直接海水冷却方式とし、近傍海岸より取水。発電所からポートスーダン変電所に220 kV送電線を敷設。

次の段階 (FS)での検討課題

No.	項目	No.	概要
1	全般	1	財務・資金及び工期を再考した 更なる複合発電や規模最適化検討 。
2	技術品質	1	建設候補地の選定。土木調査（地質調査、地形測量）の実施。
		2	系統解析 。
		3	持続的長期安定運転のための水素混焼及びO & M支援案検討。
3	工程	1	発電設備、FSRU及び港湾設備を含めた 全工期短縮案の検討 、および 各工程の相互調整。
		2	500 kV送電 線 (ハルツーム - ポートスーダン間)の整備の 工程確認と調整 。
4	資金/費用	1	GTCC並びにガスインフラ のCAPEX、OPEX、LCOE及びIRR等を含めた 財務分析 。
		2	本邦を含め ドナーの協力体制、融資分担 の検討。
5	社会環境配慮	1	冷却方式を含むEIA(生態等)と社会配慮を想定した調査。
		2	マングローブ 伐採の環境社会影響の検討、代替措置の検討。
6	その他	1	サプライチェーン調査・構築 。(供給元、供給方法、運営形態、FSRU船等)
		2	FSRU及び港湾設備 の候補地及び具体化の調査。

出典：調査団にて作成



3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向: 提案プロジェクト概要並びに次の段階(FS)での検討課題

4. 需要増加への対応: 300MWクラスGTCCを既設発電所の遊休地に設置

項目	概要
主要課題と解決	需要増加への対応 ⇒ 発電設備導入
提案プロジェクト	300 MWクラスGTCCをハルツームの既設発電所の遊休地に設置
対象機関	MoEP、SEHC、STPG、SETCOなど
想定費用 (Mil USD)	非公開
想定期間 (FS ~ 完了)	2022 ~ 2030 (建設期間: 41 か月) (部分操業開始: 2030 1Q)
提案概要	出力100 MWクラスGT2基と出力100 MWクラスST1基を組合せたGTCC発電設備。ハルツーム周辺。敷地面積(除く、取水設備) 約32,000 m ² 。年間発電量約2,320 GWh/年。SunagasからのガスパイプラインによるNG供給を前提。冷却塔方式。既設の220 kV送電線に接続。

次の段階 (FS)での検討課題

No.	項目	No.	概要
1	全般	1	財務・資金及び工期を再考した 更なる複合発電や規模最適化検討 。
2	技術品質	1	候補地の選定。(マハムードシェリフ博士発電所)
		2	系統解析 。
		3	持続的長期安定運転のための水素混焼及びO & M支援案検討。
3	工程	1	全工期短縮案 の検討。
		2	SUNAGAS建設工事(含むポートスーダンからハルツーム間のガスパイプライン)工程確認 と調整。
4	資金/費用	1	GTCC並びにガスインフラのCAPEX、OPEX、LCOE及びIRR等を含めた財務分析 。
		2	本邦を含め ドナーの協力体制、融資分担 の検討。
5	環境社会配慮	1	取水を含めた 環境社会配慮の詳細検討 。
6	その他	1	サプライチェーン調査 。(Sunagasの計画)
		2	Sunagas計画が 延期/中止された場合の代替案 の検討。

出典：調査団にて作成

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向：提案プロジェクト概要並びに次の段階(FS)での検討課題

5. 需要増加への対応：300MWクラス風力発電所とBESSの一括導入 *BESS=Battery Energy Storage System

項目	概要
主要課題と解決	需要増加への対応 ⇒ 発電設備導入
提案プロジェクト	ス国北部におけるBESSを付帯した300 MWクラスの風力発電
対象機関	MoEP、SEHC、SETCOなど
想定費用 (Mil USD)	非公開
想定期間 (FS ~ 完了)	2022 ~ 2031 (建設期間：36 か月) (初号機運転開始：2030 3Q)
提案概要	3.0 MWクラス100基。ス国北部想定。年間発電量約788 GWh/年。敷地面積約4,250 ha (2.5 km x 17 km)。BESSは短周期変動対応120 MW/60 MWhと長周期変動対応120 MW/480 MWhの組合せ。既設の220 kV送電線に接続。

次の段階 (FS)での検討課題

No.	項目	No.	概要
1	全般	1	再生可能エネルギーマスタープランと関連システム設計。
		2	財務・資金及び工期を再考したハイブリッド風力や規模最適化検討。
2	技術品質	1	建設候補地の選定。土木調査（地質調査、地形測量）の実施。
		2	持続的長期安定運転のためのO & M支援案検討。
		3	建設候補地での系統変動・挙動や風力賦存量・挙動等調査による蓄電池容量、及びこれに伴う系統・設備制御の最適化。
		4	系統解析の実施。建設候補地からの具体的送電計画。
3	工程	1	全工期短縮案の検討。
4	資金/費用	1	風力並びにBESS、送電線のCAPEX、OPEX、LCOE及びIRR等を含めた財務分析。
		2	民間資金活用や日本以外のドナーとの協力体制、融資分担の検討。
5	環境社会配慮	1	鳥類生態、騒音、景観を含めた環境社会配慮の詳細検討。

出典：調査団にて作成

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向：提案プロジェクト概要並びに次の段階(FS)での検討課題

6. 需要増加への対応：300MWクラス太陽光発電所とBESSの一括導入 *BESS=Battery Energy Storage System

項目	概要
主要課題と解決	需要増加への対応 ⇒ 発電設備導入
提案プロジェクト	ス国北部におけるBESSを付帯した300 MWクラスの太陽光発電
対象機関	MoEP、SEHC、SETCOなど
想定費用 (Mil USD)	非公開
想定期間 (FS ~ 完了)	2022 ~ 2031 (建設期間：57 か月) (初号機運転開始：2029 3Q)
提案概要	数百 Wの太陽光パネルを大量に設置し300 MWのメガソーラとする。ス国北部想定。年間発電量約546 GWh/年。敷地面積約375 ha (2.5 km x 17 km)。BESSは短周期変動対応200 MW/150 MWhと長周期変動対応60 MW/120 MWhの組合せ。既設の220 kV送電線に接続。

次の段階 (FS)での検討課題

No.	項目	No.	概要
1	全般	1	再生可能エネルギーマスタープランと関連システム設計。
		2	財務・資金及び工期を再考したハイブリッド太陽光や規模最適化検討。
2	技術品質	1	建設候補地の選定。土木調査（地質調査、地形測量）の実施。
		2	持続的長期安定運転のためのO & M支援案検討。
		3	建設候補地での系統変動・挙動や太陽光賦存量・挙動等調査による蓄電池容量、及びこれに伴う系統・設備制御の最適化。
		4	系統解析の実施。建設候補地からの具体的送電計画。
3	工程	1	全工期短縮案の検討。
4	資金/費用	1	太陽光並びにBESS、送電線のCAPEX、OPEX、LCOE及びIRR等を含めた財務分析。
		2	民間資金活用や日本以外のドナーとの協力体制、融資分担の検討。
5	環境社会配慮	1	鳥類生態、騒音、反射光を含めた環境社会配慮の詳細検討。

出典：調査団にて作成

3.スーダン共和国 電力セクター調査

3.8 今後進むべき方向：提案プロジェクト概要並びに次の段階(FS)での検討課題 7.需要増加への対応：地熱発電開発（より進んだ調査）

項目	概要
主要課題と解決	需要増加への対応 ⇒ 発電設備の導入
提案プロジェクト	バユダ (Bayuda)における地熱発電開発
対象機関	MoEP、SGA など
想定費用 (Mil USD)	非公開
想定期間 (FS ~ 完了)	2022 ~ 2032 (地熱資源が確認された場合の最短)
提案概要	2011 - 2013年における予備調査で得られた結果から、地表調査および試掘調査を実施し事業評価を行う。 事業評価により有望性が確認された場合は、生産井の掘削および地熱発電プラントの建設を行う。

次の段階 (FS)での検討課題

No.	項目	No.	概要
1	全般	1	地表調査：選定された2箇所の地区で物理探査（MT探査・重力探査等）の実施。
		2	試掘調査：開発優先度の高い地区で2,000 m級の試掘井戸を掘削。
2	技術品質	1	地表調査：地熱貯留層モデルの策定、開発優先度の設定、試掘計画の作成。
		2	試掘調査：試掘に基づき地熱資源の存在の確認と評価。
		3	試掘調査：試掘結果の評価結果に基づき事業評価、今後の開発計画・事業計画の作成。
3	工程	1	地表調査：1-2年、試掘調査：2年程度。
4	資金/費用	1	地表調査、試掘調査の費用の検討。(通常、地表調査：約2-4億円、試掘調査：約11-33億円)
		2	民間資金活用や日本以外のドナーとの協力体制の検討。
5	環境社会配慮	1	EIAの詳細検討。(試掘計画作成後にEIAの実施と環境当局による承認が必要)

出典：調査団にて作成

SECTION

04

スーダン共和国 港湾セクター調査

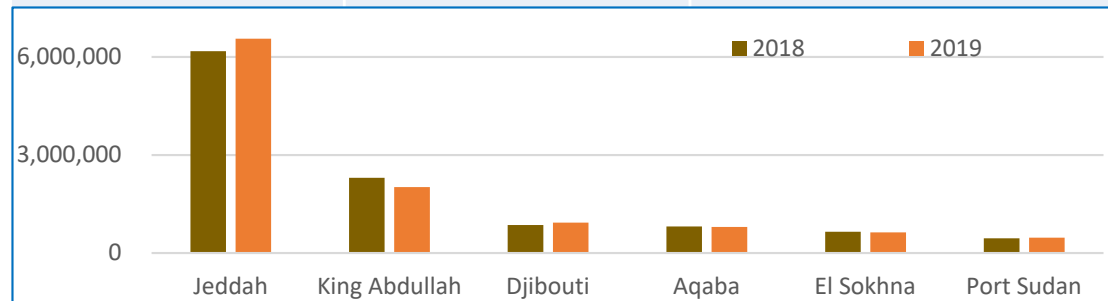
4.1	港湾セクター概況	73
4.2	既存施設と将来計画	74
4.3	港湾分野の課題分析	76
4.4	協力対象事業の検討	77
4.5	事業実施枠組み	78
4.6	今後進むべき方向	84
4.7	次段階調査での要検討事項	88



4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.1 港湾セクター概況

スーダン貿易概況	輸出	輸入
貿易に占める割合	30%	70%
主な貿易品目	鉱物（金） 39% 農産物(*) 42% 家畜/畜産物 11% *ゴマ、綿、アラビアガム等	食品 30% 製造物 21% 機械類 17% 石油製品 14%
主な貿易相手国	アラブ首長国連邦 中国 エジプト サウジアラビア インド	中国 アラブ首長国連邦 インド サウジアラビア ロシア
対GAFTA加盟国	金、家畜、ゴマ	石油製品、製造物、食品
対COMESA加盟国	家畜、ゴマ、農産物、綿、石油製品	製造物、化学品、食品、コーヒー、茶
その他各国	ゴマ、落花生、アラビアガム、金	機械類、製造物、食品、小麦及び小麦粉、輸送機器



紅海周辺港コンテナ取扱量 (TEU)



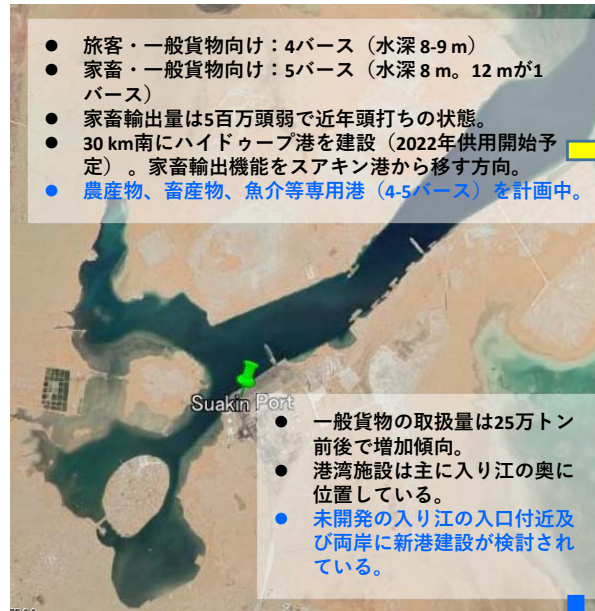
4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.2 既存施設と将来計画

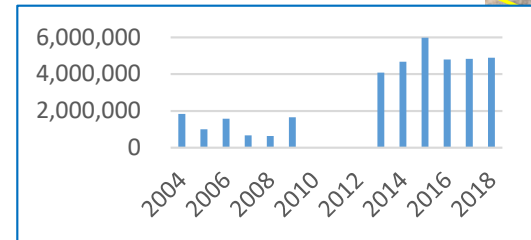
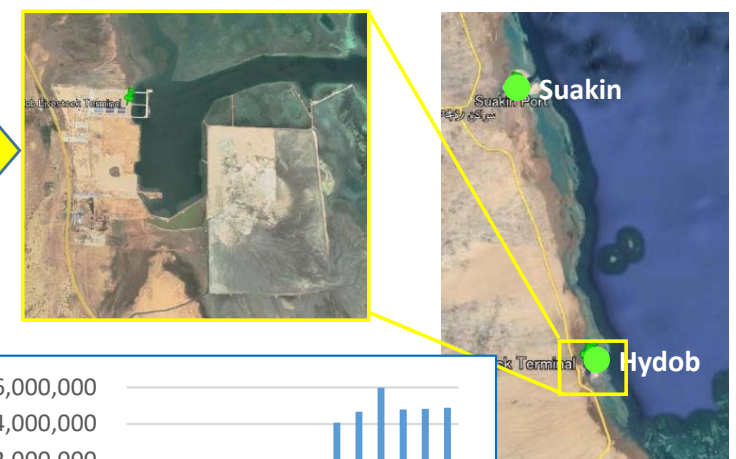
ポートスーダン港South Quay（コンテナ取扱港）



スアキン港（家畜・旅客・一般貨物取扱港）



ハイドゥープ港（家畜輸出港）



スアキン港家畜輸出货量（頭数）



4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.2 既存施設と将来計画

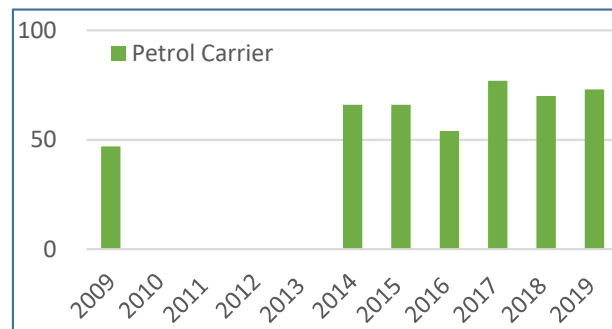
ポートスーダン港 Al Khair Oil Terminal (石油製品取扱港)



- 2017年以降石油製品の国内需要が急増。
- 2019年には取扱量が290万トンに達し取扱容量を超過。
- 寄港船舶数は頭打ちの状態。
- 1バースのため急増する需要に荷役が追いつかず問題となった。



Al Khair 輸出入貨物量推移 (トン)



Al Khair 寄港船舶数推移

- 今後の需要増の際は2隻同時荷役等に対応できるよう、拡張事業が予定されている。
- 浚渫は2013年10月～2016年8月に実施され、受入れ可能な最大船型は15万DWT。
- 拡張工事は2022年3月～4月見込み。



Dama Dama Oil Terminal Phase 2事業地

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.3 港湾分野の課題分析

1. 水深不足

- ス国港湾は基本的に水深が浅く、主にサウジアラビアで積替えを行うフィーダー船が寄港。
- ポートスーダン港には水深16 mが2バースあり、近年の船舶大型化により利用が集中。
- 実績ベースで最大7万 DWT型が寄港。
- 紅海周辺港（サウジアラビア、ジブチ、アインスクナ等）には国際定期船サービスが周航しているが、スーダンには寄港なし。

定期船サービスへの参入を目指すには貨物量の増加及びより大型船に適した水深の深いバースが必要。

- 一般貨物のバースは水深が浅く、バージやフィーダー船の利用が一般的。
- 今後支援・投資が期待される大規模インフラや産業開発では大型資機材の輸出入が予想されるが、現状ではフィーダー船への積み替えが必須。

大型船の直接寄港が可能な水深の深い多目的港の整備が望ましい。

2. コンテナの荷役効率の低さ

- 近年のコンテナターミナル内での混雑とそれに伴う長期滞船、着岸・荷役時間の長期化は、オペレーター雇用、人材育成、水深の深いバースへの荷役機器の新規調達により、滞船・荷役時間共に改善傾向にある。
- 一方、水深の浅いバースには荷役機器の更新計画がなく機器故障が滞船・荷役時間の長期化を招き、荷役バースの変更等、他の荷役にも影響。

全体的な荷役効率向上のためには、水深の浅いバースでも荷役機器の更新が必要。

3. コンテナのヤード内滞留時間の長さ

- 2007年の28日から2014年は15 日に改善。
- 港内でのコンテナ移動、関税手続き、輸送手続き、コミュニケーション、銀行手続き等の時間を含む。
- ポートスーダン港は比較的コンテナ無料保管期間が長く、輸入業者組合の要望を汲んだ20日無料の規定（2005年）、最近の調査でも輸出貨物が30日無料との結果があり、港内混雑の一因と考えられる。

港内混雑は荷役効率にも影響。輸出入・輸送手続所要期間の短縮化、無料保管期間の縮減、保管用エリアの整備等の施策が必要。

4. スーダン沿岸域の航行の安全性

- IMO、IHO、IALAによるス国の水路、海図及び航路標識に係るニーズ評価（2018年）で、水路調査の情報共有体制の脆弱さ、利用されている海図の精度の低さ、航路標識管理体制の脆弱性が指摘された。

設備の維持管理体制が不十分な状態であり、SPCも航路標識改善の必要性を指摘。

5. 包括的な港湾計画の不在

- 個々の既存港湾別に開発計画を作成・実施。
- 過去に取扱いのない貨物は、民間主導で開発（原油輸出港、LNGプラント開発計画等）
- 申請段階でSPCの計画と適合しなければいちから民間が再検討する状況。

国全体の需要、発展の方向性を踏まえた港湾マスタープランの策定と、計画的な開発が必要。

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.4 協力対象事業の検討

	施設	整備内容	候補地
Option-1	LNG受入拠点、多目的ターミナル	岸壁、渡橋、ヤード、建築・設備、荷役機械、LNGシステム(FSRU、RMS、陸上パイプライン)	Damma Damma Oil Terminal Phase2南側
Option-2	LNG受入拠点	栈橋、ドルフィン、ヤード、建築・設備、LNGシステム	Basher Oil Terminal南側
Option-3	LNG受入拠点	(FSRU、RMS、海底パイプライン、陸上パイプライン)	
Option-4	コンテナターミナル	岸壁、ヤード、建築・設備、荷役機械、港湾アクセス道路	Suakin港North Quay
Option-5	荷役機器	ガントリークレーン、RTG、その他	ポートスーダン港South Quay 旧ターミナル
Option-6	航路標識	灯標、照射灯、灯浮標、その他	ポートスーダン港、スアキン港、ハイドゥーブ港



4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.5 事業実施枠組み（プロジェクトコンポーネント案）

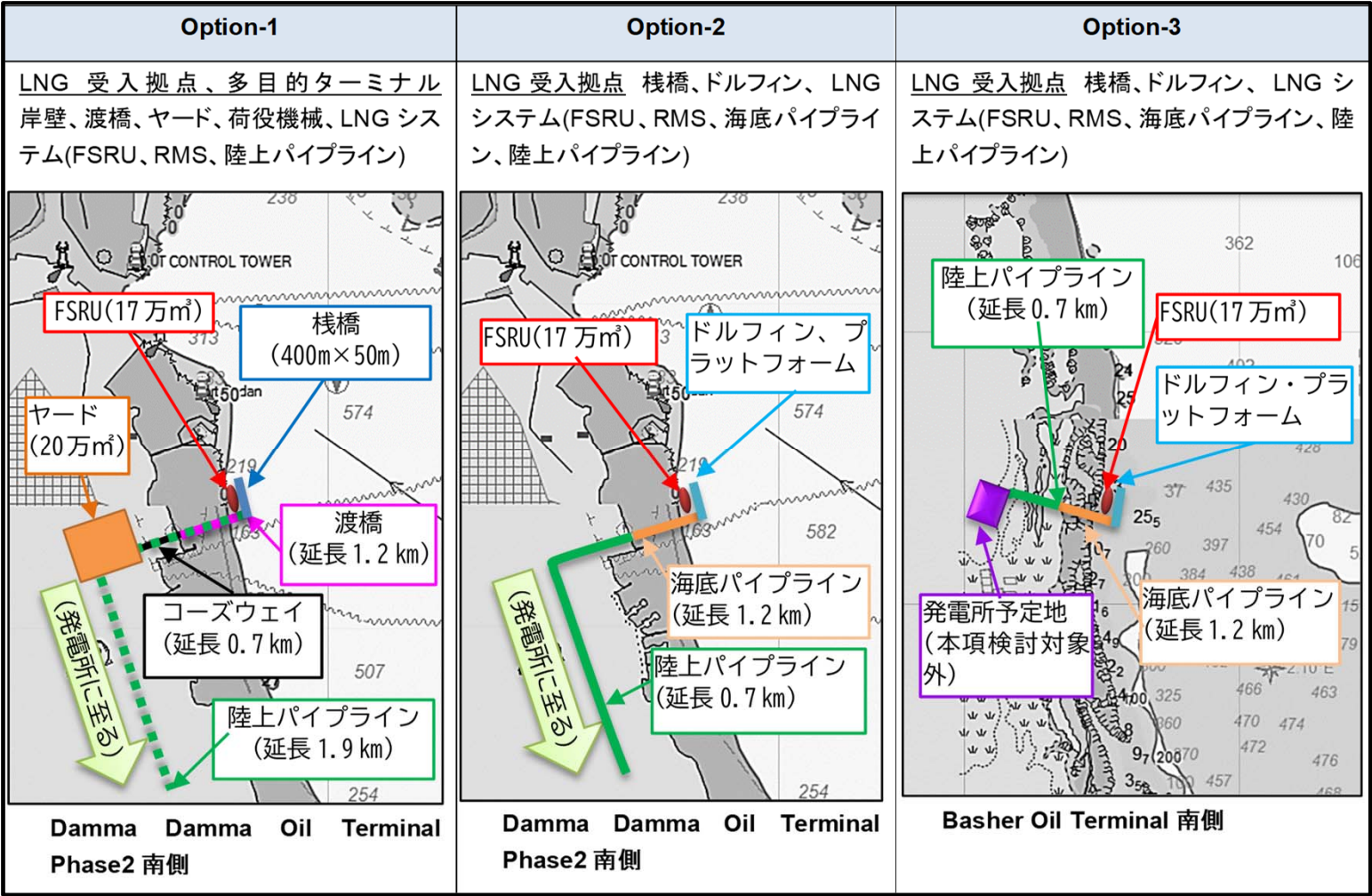
表. 事業コンポーネント案

Option	整備内容	
1	- 岸壁：延長400 m、幅50 m、水深 -14.5 m - 渡橋：延長1200m、幅20m、水深-5m - ヤード：20ha (400m x 500m) - 護岸：延長 1,800 m - 荷役機械：Mobile Harbor Crane (Panamax)×2、Reach Stacker×6、Forklift×4、Tractor & Chassis×10)	- 建築・設備：管理棟、ゲート、受変電設備棟、受水槽・ポンプ室、給油所、メンテナンスショップ、ワーカー用休憩所、屋外トイレ、消防署、受変電設備、給水設備、セキュリティ設備、港内保安用システム(CCTV他)、 - LNGシステム：新造FSRU（タンク容量170,000m3）購入、RMS、陸上パイプライン（陸上1.9km）
2	- 棧橋・ドルフィン：延長430 m、水深 -14.5 m、 - ヤード：20ha (400m x 500m)、 - 護岸：延長 1,800 m、	- 建築・設備：ゲート、受変電設備、受水槽・ポンプ室、給油所、港内保安用システム(CCTV他)、 - LNGシステム：新造FSRU（タンク容量170,000m3）購入、RMS、陸上パイプライン（海底1.2km、陸上0.7km）
3		
4	- 岸壁：延長400 m、幅35 m、水深 -16.5 m - ヤード：20ha (400m x 500m) - 護岸：延長 1,800m - 荷役機械：STS Gantry Crane×3、RTG×9、Trailer and Chassis×15、Reach Stacker×6、Forklift×5、Top Lifter×5	- 建築・設備：管理棟、ゲート、受変電設備棟、受水槽・ポンプ室、給油所、メンテナンスショップ、ワーカー用休憩所、屋外トイレ、消防署、受変電設備、給水設備、港内保安用システム(CCTV他)、 - 港湾アクセス道路：既存道路までの接続部分4km、

出典：調査団にて作成

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

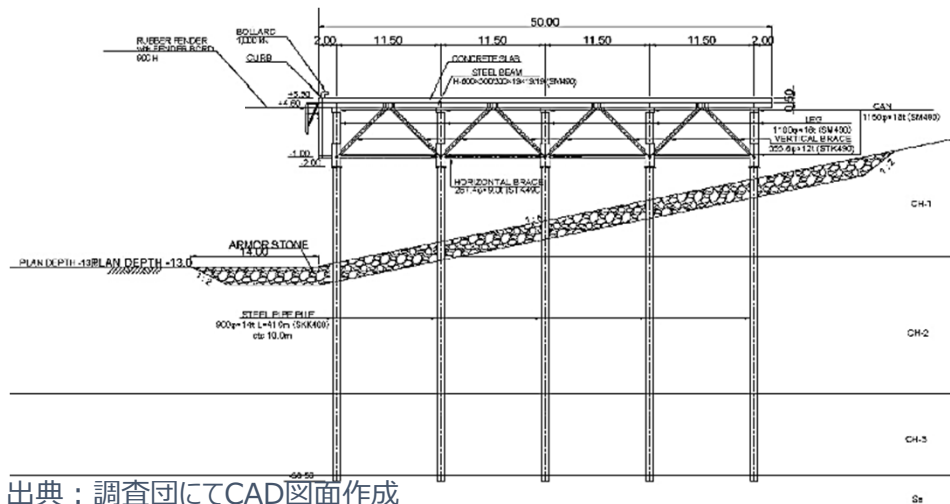
4.5 事業実施枠組み（プロジェクトコンポーネント案）



出典：調査団にて作成

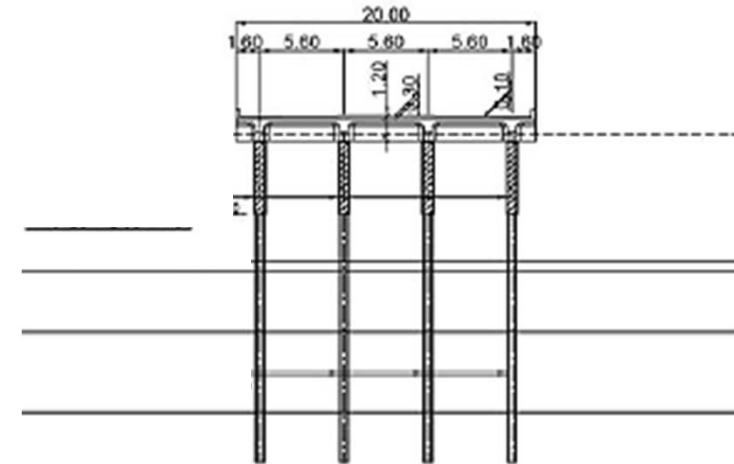
4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.5 事業実施枠組み（プロジェクトコンポーネント案）



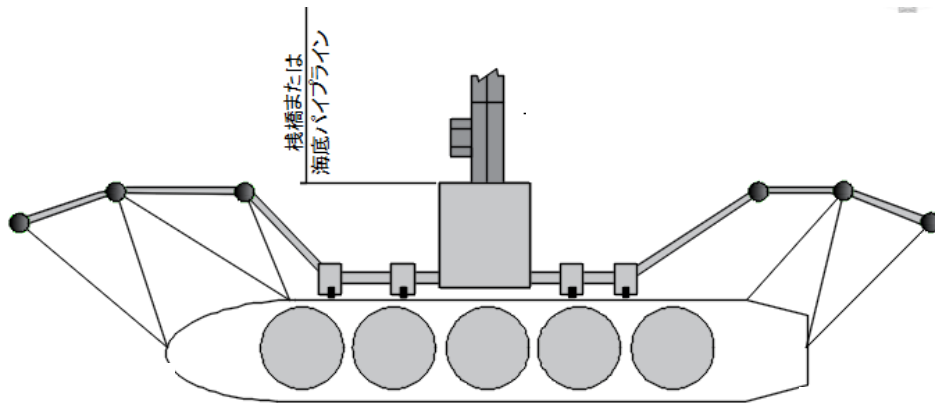
出典：調査団にてCAD図面作成

図 ジャケット式栈橋の断面構造(Option-1)



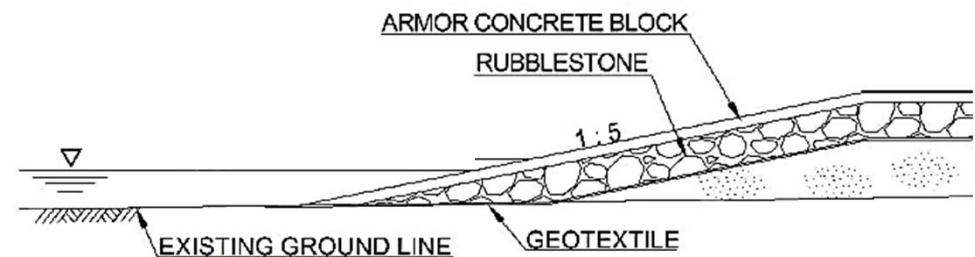
出典：調査団にてCAD図面作成

図 渡橋の断面構造(Option-1)



出典：調査団にてCAD図面作成

図 ドルフィン・プラットフォーム 平面図(Option-2, Option-3)

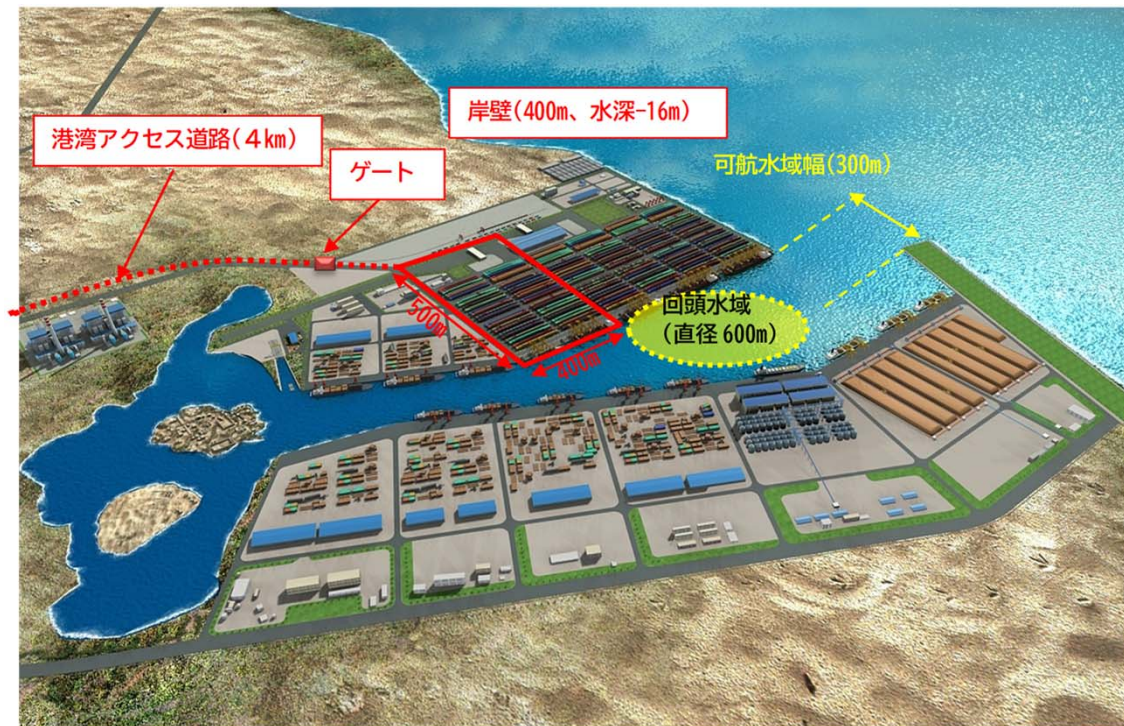


出典：調査団にてCAD図面作成

図 護岸 断面図

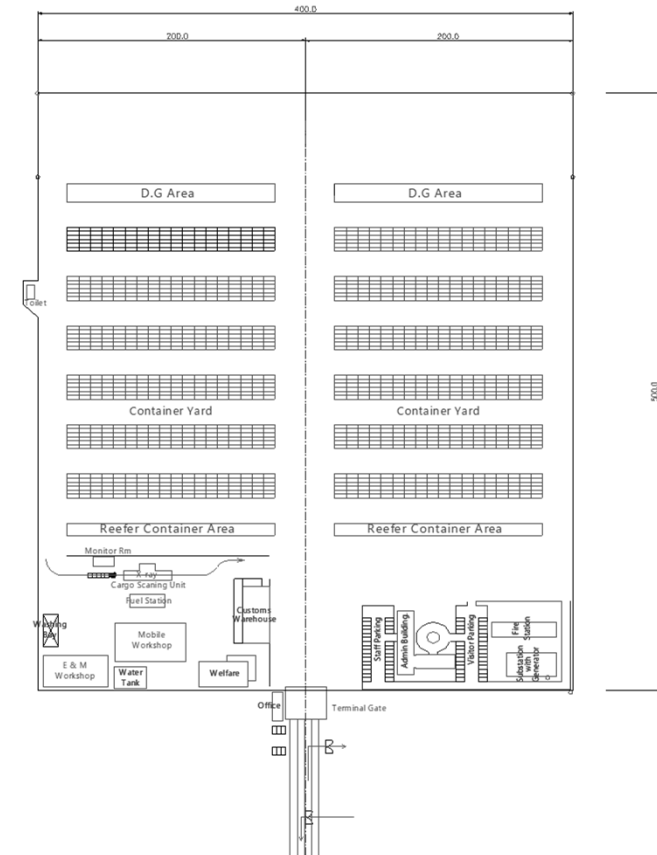
4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.5 事業実施枠組み（プロジェクトコンポーネント案）



出典：SPC、Suakin International Container Terminal Environmental Impact Assessment Final Report、2013年記載のMPイメージ図をもとに調査団にて作成

図 開発後のイメージ(Option-4)



出典：調査団にてCAD図面作成

図 ヤードレイアウト

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.5 事業実施枠組み（事業規模の試算）

費用の見積は非公開とした。

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.5 事業実施枠組み（資金計画と本邦技術の活用案）

- 資金調達：円借款(アンタイド) を想定、 本体及びコンサルティングサービスを含む
- 活用を想定する主な本邦技術
 - ✓ ジャケット工法、鋼管杭(長尺)、重防食・電気防食
 - ✓ リーチスタッカー、トラクター(高環境性能、低燃費)
- スーダン国政府負担事項： 移転補償、用地取得、免税等

ジャケット工法



写真：ジャケット工法の据付時の状況

《特徴》

鋼管で組み立てた立体トラス構造の上部工を基礎杭に設置する工法。

- ✓ 杭本数の削減・陸上と海上の並行作業による工期短縮を実現
- ✓ 水平耐力の向上

《海外での適用事例》

海外での適用例はミャンマー国ティラワ港の1件のみ（工事完了済み）。またケニア国モンバサ港で詳細設計中。日本では災害復旧など急速施工を必要とする場所、または羽田空港第4滑走路など河川流を妨げないことが望まれる場所での適用例が多い。

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.6 今後進むべき方向: 全体工程

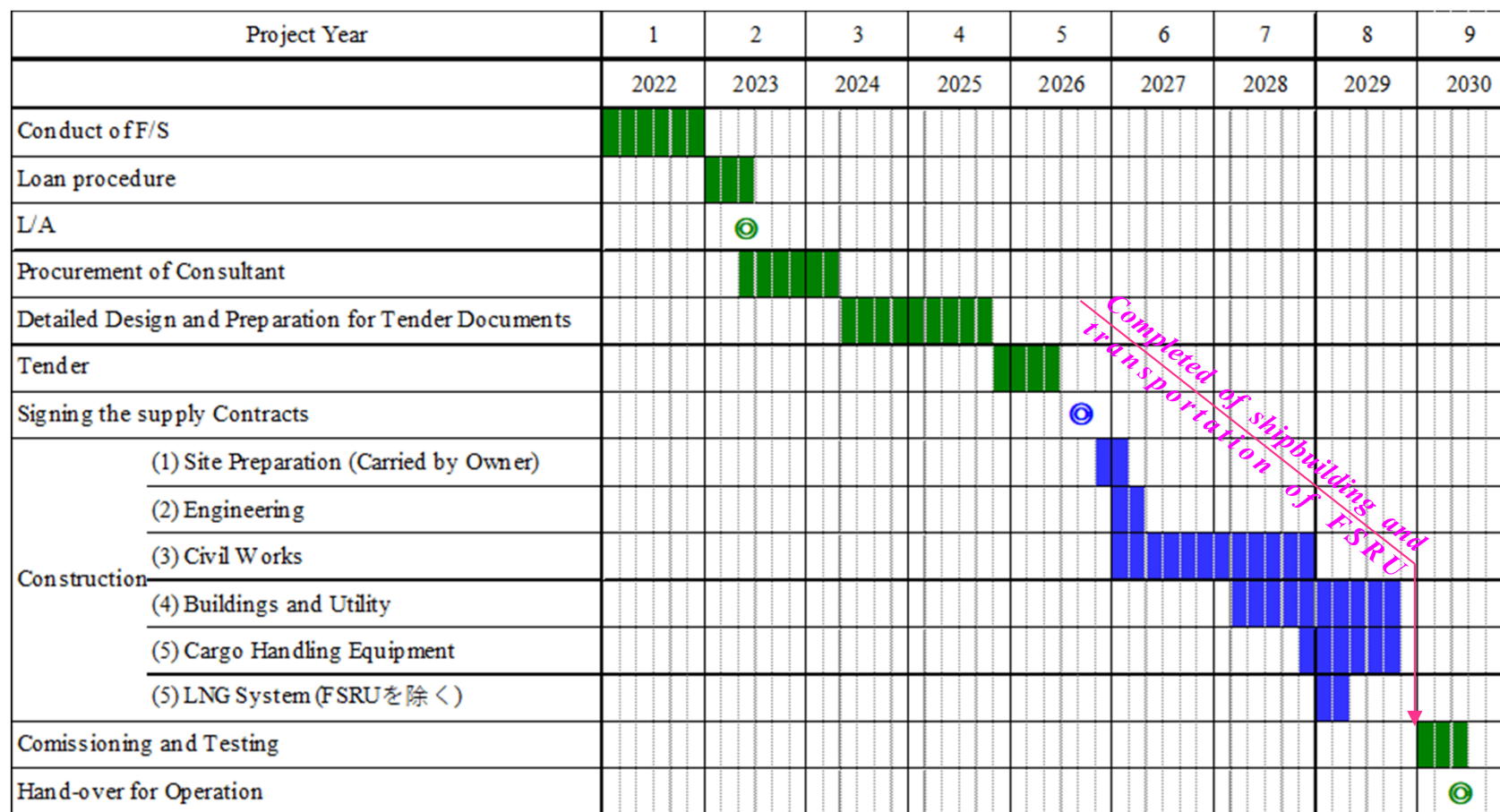
注：FS: Feasibility Study、Tndr: Tender、D & P: Design & Procurement

課題	項目	場所	本邦技術	22-23	24-25	26-27	28-29	30-31
包括的な港湾計画の不在	全国港湾MPの策定							
	MP策定支援/専門家	スーダン国全土	専門家	支援・専門家				
需要増加対応 (安定電源)	電力供給力向上のための高効率GTCCの燃料輸入拠点の整備							
	LNG輸入拠点整備	Damma Damma Oil Terminal Phase2南側	—	FS	Fund/Tdr	D & P	Const.	
	LNG輸入拠点整備	Basher Oil Terminal南側	—	FS	Fund/Tdr	D & P	Const.	
需要増加対応 (安定電源+ 港湾貨物)	電力供給力向上 + 貨物取扱能力の向上							
	LNG輸入拠点・多目的ターミナル整備	Damma Damma Oil Terminal Phase2南側	岸壁(ジャケット工法)、荷役器機(高環境性能、低燃費)	FS	Fund/Tdr	D & P	Construction	
需要増加対応 (港湾貨物) 水深不足	貨物取扱能力の向上 + コンテナ取扱能力の機能移転							
	コンテナターミナルの整備	Suakin港North Quay	荷役器機(高環境性能、低燃費)	FS	Fund/Tdr	D & P	Construction	
コンテナの荷役 効率の低さ	荷役効率の向上							
	ガントリークレーン、RTG、その他	ポーツーダン港South Quay 旧ターミナル	—	Fund ~ Construction				
スーダン沿岸域 の航行の安全 性	既存設備のリハビリ、および、新設							
	航路標識の整備	ポーツーダン港、スアキン港、ハイドゥーブ港	—	Fund ~ Construction				

出典：調査団にて作成

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

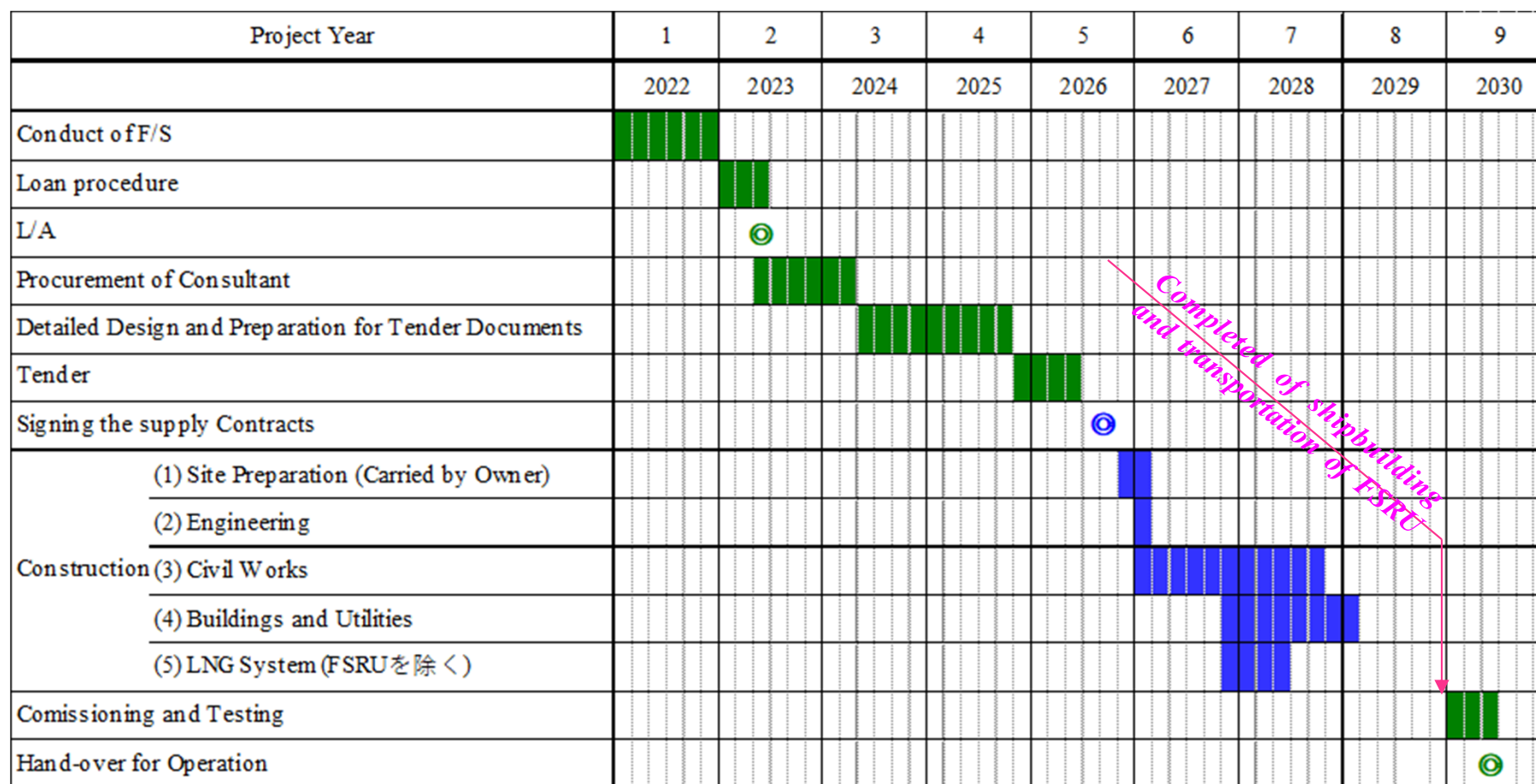
4.6 今後進むべき方向: 事業実施スケジュール(Option-1)



出典：調査団にて作成

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.6 今後進むべき方向：事業実施スケジュール(Option-2、3)



出典：調査団にて作成

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.6 今後進むべき方向: 事業実施スケジュール(Option-4)

Project Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Conduct of F/S	■	■	■	■					
Loan procedure		■	■						
L/A		◎							
Procurement of Consultant		■	■	■	■				
Detailed Design and Preparation for Tender Documents			■	■	■	■	■		
Tender					■	■	■		
Signing the supply Contracts					◎				
(1) Site Preparation (Carried by Owner)						■			
(2) Engineering						■			
Construction (3) Civil Works						■	■	■	■
(4) Buildings and Utility							■	■	■
(5) Cargo Handling Equipment								■	■
Comissioning and Testing									■
Hand-over for Operation									◎

出典：調査団にて作成

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.7 次段階調査での要検討事項

◎港湾セクターマスタープランの策定

現在、ス国の港湾セクター全体を網羅するマスタープランが存在しておらず、港湾開発は個別の貨物需要に応じ、港湾ごとの計画を作成して進められている。現在ス国の貿易量の9割を扱うポートスーダン港とは別に、スアキン港の国際港湾化が検討されているが、将来的なポートスーダン港及びスアキン港の役割をどのように考えるのか、また、産業の発展に沿った専用港の整備計画、今後の電力需要に対応した輸入燃料の取扱い港の検討等、包括的な計画の下に開発を進めていくべき

◎貨物需要予測

港湾開発において、必要とされる港湾規模の想定には国全体の輸出入貨物量及び港湾取扱い貨物量の実績と、将来需要を予測し、適切な規模や開発フェーズを検討することが重要である。ス国では、港湾によっては取扱い貨物量の実績値が集計されているが、国全体の輸出入貨物量は金額ベースのみであり、貨物需要の予測に必要なコモディティ別、トンベースおよびコンテナ（TEU）ベースでの統計が不足している。また、将来予測は個別事業ベースでのみ実施されている状況にある。港湾開発事業の検討をさらに進めるためには、取扱い貨物量の実績調査及び需要予測を行う必要がある。

◎航路および通航検討

新規港湾施設の検討では、従来ス国の港湾に寄港している船舶よりも大型船による寄港を想定している。しかし、ス国の既存港湾およびその周辺における海図の精度が低いため、既存のデータのみでなく、新たに水路調査を行い、必要であれば事業地、航路の検討、もしくは浚渫の再検討を行う必要がある。

◎ゲートウェイ港との機能分担

供用開始後大型船が本格的に寄港するまでは、貨物の一部をポートスーダン港へバージ輸送することが想定される。フィーダー航路の就航を目指すのであれば、ゲートウェイ港との機能分担やアクセス道路など関連プロジェクト実施、周辺地域開発、港湾管理体制構築について検討が必要であると考えられる。

◎港湾供用と利用拡大のタイムラグの縮減

一般に港湾施設は供用開始と取扱貨物量の拡大にタイムラグがあることが指摘されている。このタイムラグを縮減するためには港湾関係者ヘインセンティブを付与し、安定して取扱貨物量を確保することが重要である。

大型船の寄港が本格化するまで各段階での貨物需要量に合わせて多様なループサービスと呼び込み、フィーダー航路サービスを継続して機能させるための方策が望まれる。

◎日本企業の参画への働きかけ

昨今の情勢不安により日本の投資会社にとって、スーダンへの投資リスクが高まっている状況にあり、優先度が低いことが想定される。参入を促す特別な働きかけが必要である。荷主企業がス国進出時に必要となる手続きや法制度、現地関連業界の情報提供、コンテナ無料蔵置期間等、荷主及び船社メリットとなる制度の周知、他の紅海周辺港と同等の港湾利用料等を検討し、ハンドリングチャージの価格等検討し、日本企業の参画をいかに確保するのか検討が求められる。

◎経済財務分析の実施の必要性

事業による効果を定量的に評価、経済分析、財務分析をもとに内部収益率（IRR）を算出。本結果および前段の検討を踏まえて事業実現可能性を評価する必要がある。

4. スーダン共和国 港湾セクター調査

4.7 次段階調査での要検討事項

◎自然条件調査実施の必要性

既存の調査結果の収集に加え、必要と判断される自然条件調査(地質・土質調査、水文・水質調査、深淺測量、海象調査)について現地調査を実施し、適地選定、および、各種設計条件に反映させる。特に海岸保全施設の設計に当たっては、波浪諸元(波高、周期、波高等)を適切に設定することが重要である。次段調査を実施する場合においては、当地における長期間にわたる観測データを用いた統計解析、また、観測データが十分でない場合においては波浪推算の結果を用いて検討を行う必要がある。

◎環境社会配慮実施の必要性

既往調査では、建設候補地における地元住民の居住は認められなかったが、漁業活動や、固有種の生息域であることが確認されている。本調査での提言として、港湾近くでの発電所建設を提案しているが、次段階の調査においてはこの現況・計画を踏まえたうえでEIAおよび漁業、観光産業への配慮の観点から詳細な環境・社会配慮に関する検討を進める必要がある。また、関係者を対象としたステークホルダー会議の実施支援を行う。

◎周辺環境に配慮した施設設計の検討

建設予定地周辺では漁業活動実態があるということで、漁業影響評価にかかわる浚渫土砂の汚濁拡散シミュレーションの実施により詳細な環境社会影響(漁業影響を含む)の検討、および生計回復支援の実施が必要であると考えられる。

また、浚渫土砂の廃棄方法/位置について不明瞭であり、詳細を確認する必要がある。埋立土として使用する場合は土質試験を実施、物理・力学的性質や化学的性質を調査し、問題がないことを確認する。また、海洋投入処分する場合には、現地の条例等に従うことはもちろん海洋環境保護の視点で影響の検討を行い、この検討結果に基づいて浚渫計画を立案する必要がある。

◎維持管理体制の明確化の重要性

必要水深が確保できなくなると安全な航行の確保が困難になるため、ターミナル供用後も継続した航路の維持管理が必要である。防波堤などの外郭施設や航路などの水域施設は国有施設として管理されることが一般的だが、大水深化をすることにより維持管理コストが増大し、港湾管理者の財政が悪化する可能性が指摘されている。以下に示す通り、管理主体が明らかになっていないほか、メンテナンスにかかわる能力が不足しており、維持管理・運用保守計画体制を検討にする必要があると考える。

- 寄港船舶の増加に伴う航行管理体制の整備が検討されていない。
- 官民分担について検討の余地あり。
- 維持管理・運営保守にかかわる事業費の検討が十分でない。
- 内部収益率について検討が必要である。
- 評価手法・指標について検討が必要である。
- 実施技術者の技能の習得が求められる。
- 海洋法に則したPort Management and Operation Boardの設立に関する検討を行う。