

ナイジェリアにおける原子力開発： 持続可能な開発の促進剤として

F・エレパモ・オサイサイ
ナイジェリア原子力委員会 委員長

講演概要

- i. エネルギーと持続可能な開発
- ii. 多様性と長期的なエネルギー安全保障
- iii. なぜ原子力なのか？
- iv. 重要な国家原子力基盤の構築に求められる要件
- v. 所有者、資金調達、資金供給
- vi. 中期的プロジェクトの成果、副次効果、課題
- vii. まとめ、結びの言葉

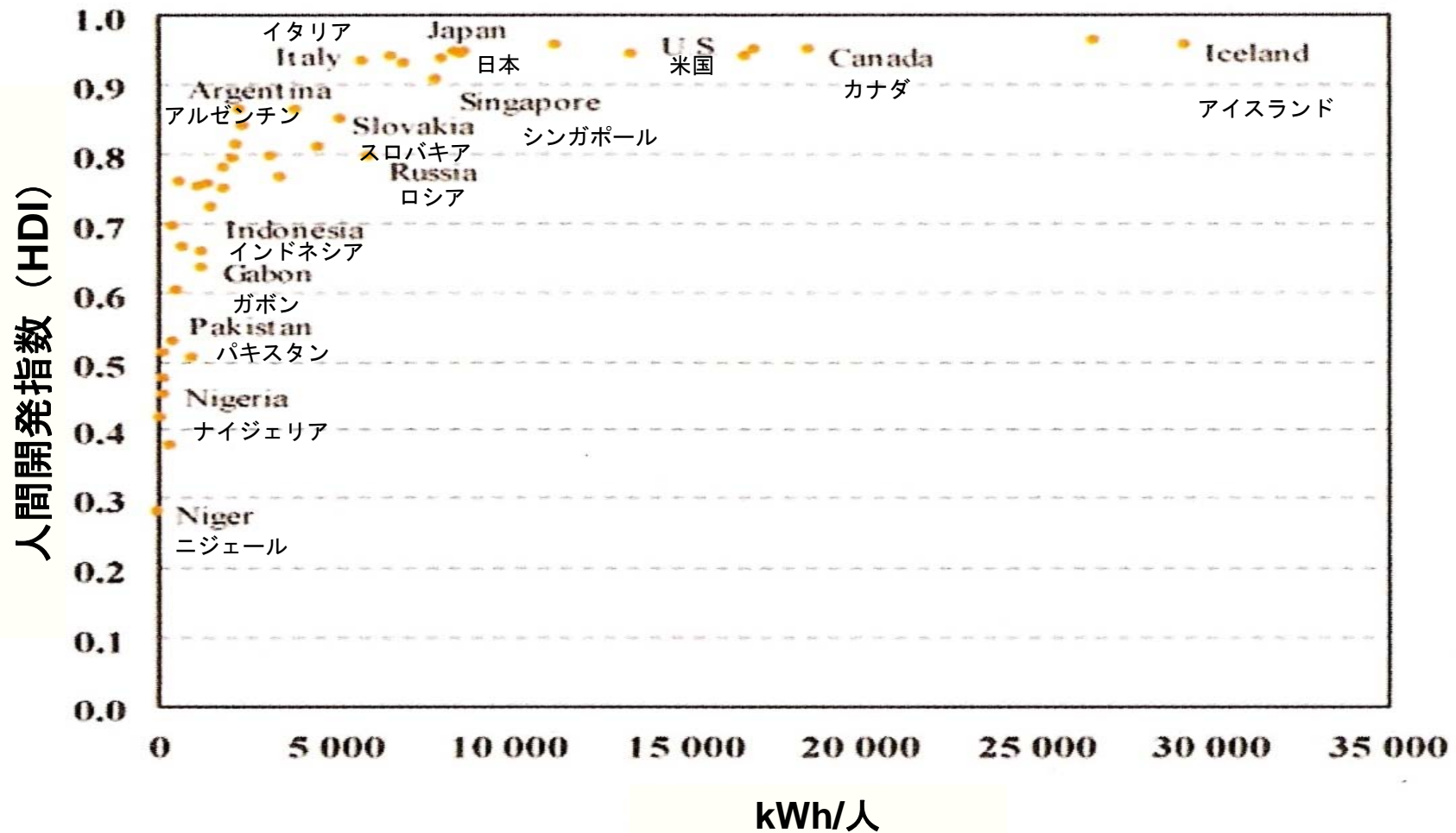
I. エネルギーと持続可能な開発

1 エネルギーと持続可能な開発

- ❖ エネルギー資源開発戦略およびその開発は、持続可能な幅広い視点を考慮に入れて行うべきである。
- ❖ 1987年、環境と開発に関する世界委員会(WCED)により、持続可能な開発とは、「将来世代のニーズが滞りなく満たされるような形で、現在の世界のニーズも満足させること」と定義されている。
- ❖ 人々のニーズを満たす経済的發展に向けた政策や戦略は、資源提供者かつ廃棄物処理者として重要な自然環境保護に貢献するものでなくてはならない。

- ❖ 従って、環境と調和しながら社会を発展させるための持続可能な開発には、人的・物的資源の可能な限り効率的かつ適切な活用が必須である。
- ❖ エネルギー自給と長期的なエネルギー安全保障は持続可能な開発を進める上で鍵となる。
- ❖ 国・地域・世界が発展するためには、長期的なエネルギー自給を実現しなくてはならない：NEEDS、NEPAD、MDG
- ❖ より綿密なエネルギー計画が必要：供給側（利用可能なエネルギー資源、開発戦略、実施計画）の分析や、適切なモデリングツールを用いた今後のエネルギー需要に関する現実的な予測が必須である。

図1.2c: 1人当たりの電気消費量と福祉の相互関係



人間開発指数と1人当たりの電力消費量 (UNDP 2005)

深刻な電力不足に直面している！

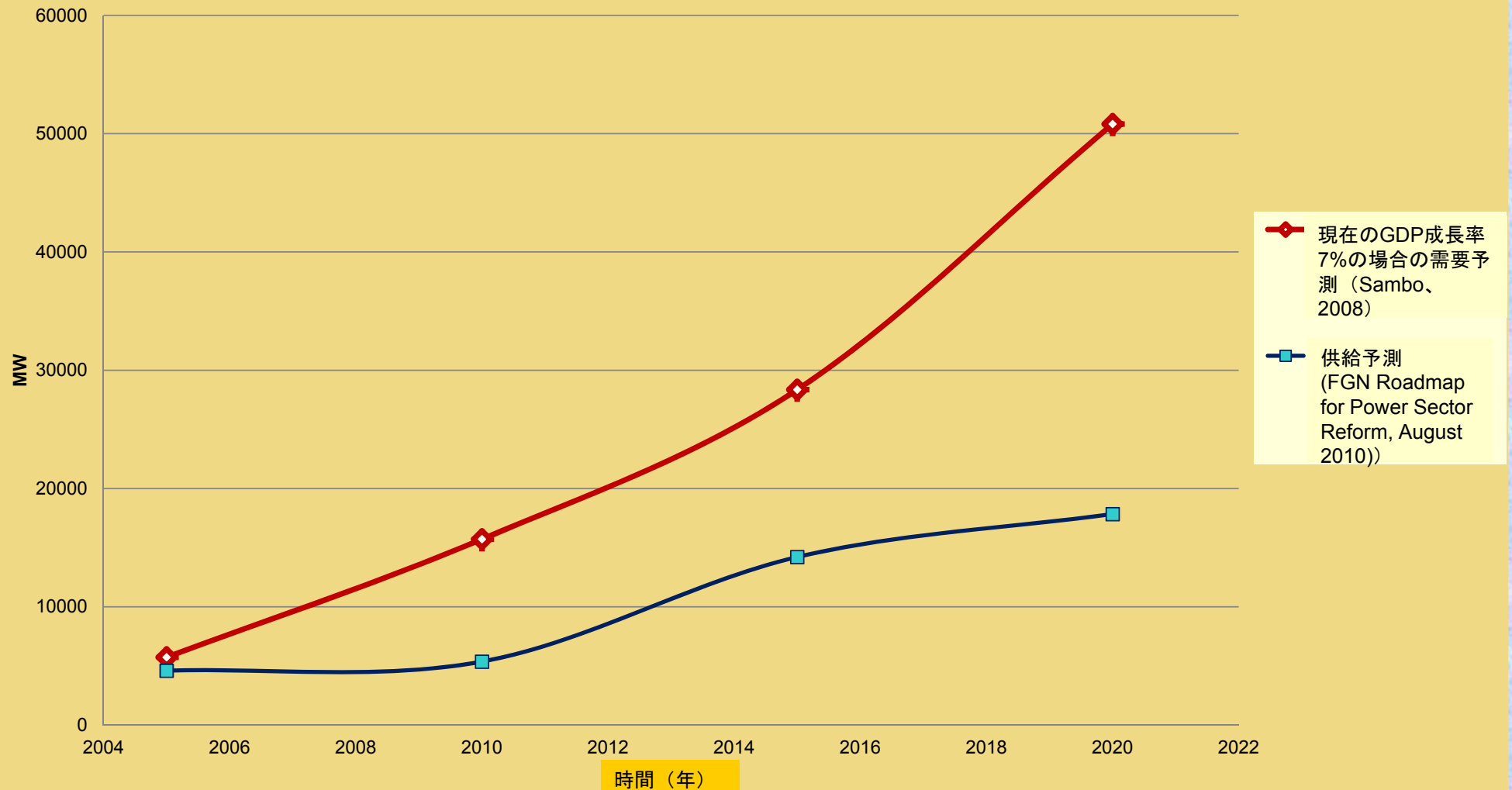


図2. 1: ナイジェリアにおける電力需要と供給の予測の比較

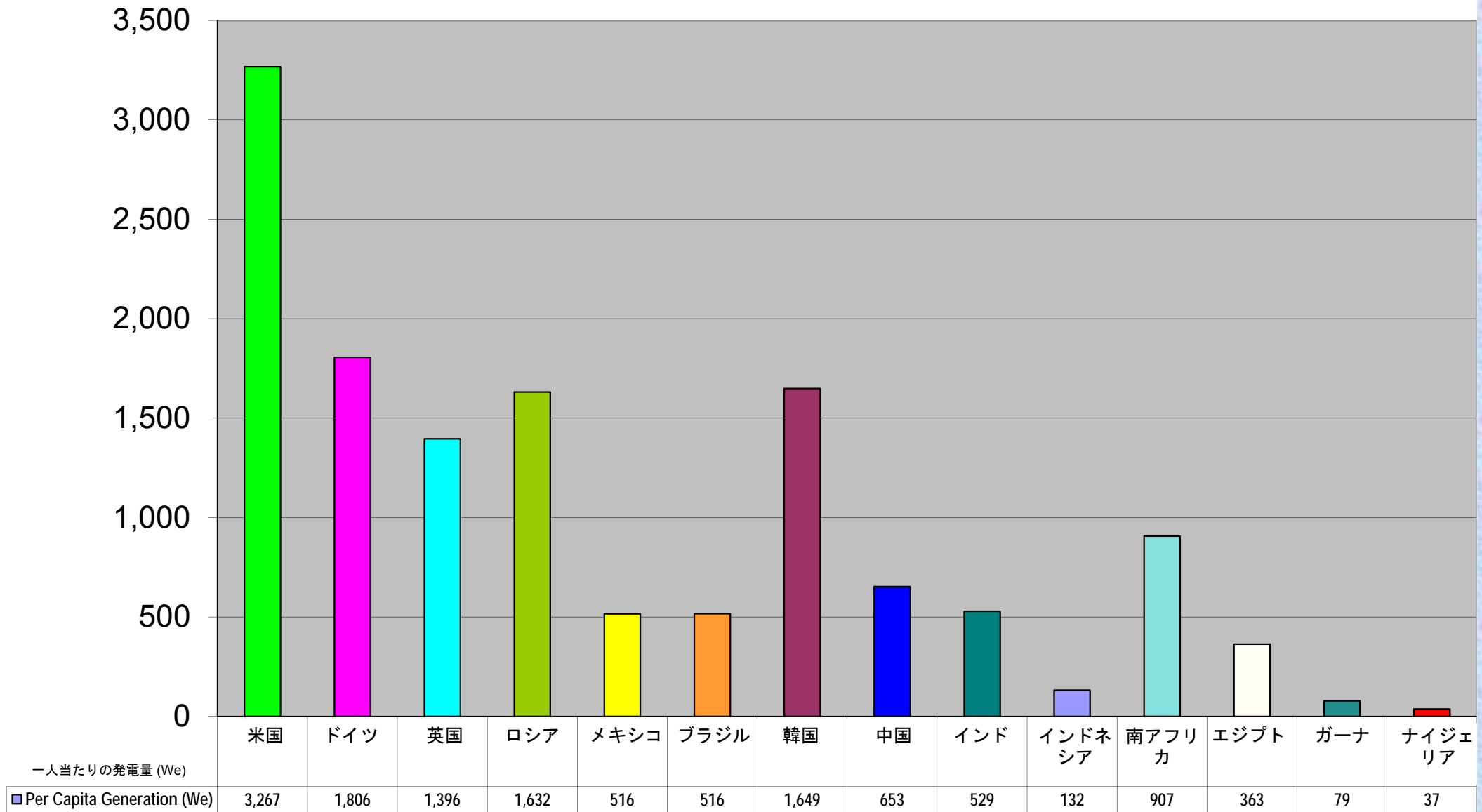


図1.2d:各国における相対的な一人当たりの電力量

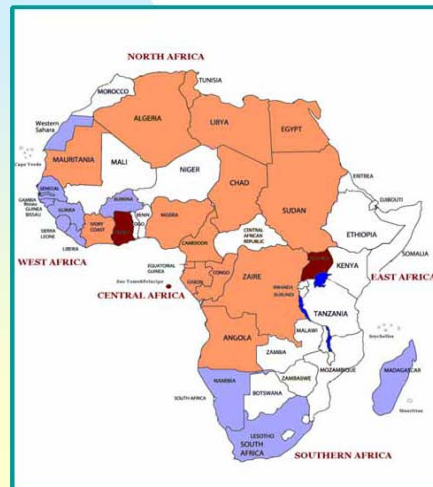
II. 多様化と長期的なエネルギー—安全保障

2 アフリカにおけるエネルギーの現状（概要）

- ❖ あらゆるエネルギー資源のピークと最終枯渇に関するモデルを用いたAFRECのレポートによると、アフリカの化石エネルギー（石油、ガス、石炭）には限りがある。
- ❖ 石油：新たな油田が発見されない限り、アフリカでは、2035年まで石油輸出国として存在できるのは2カ国のみ。2035年以降、ナイジェリアは自国の需要分しか産出できなくなる。

石油

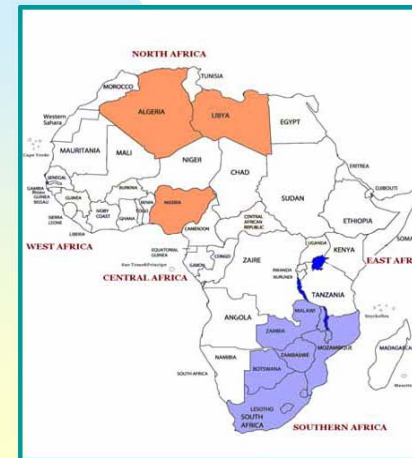
2010年時点でのアフリカの石油状況



- 総埋蔵量：
1180億バレル（世界の9.5%）
- 年間産出量：
2010 1090万バレル
2009 1070万バレル
2008 1090万バレル
2007 1080万バレル
2006 1050万バレル

石油

2035年までのアフリカの石油状況予測
（現在確認されている埋蔵量および1日あたりの産出量による）



- 石油輸出国として残るのはわずか2カ国
- アフリカ南部では合成燃料（石炭およびガスの液化）が増加
- 多くの国でバイオ燃料の生産量が増加

[première page](#)



- ❖ 天然ガス：産出国として残るのは3カ国のみだが、2035年まで輸出し続けられるのは2カ国のみ。ナイジェリアは2055年頃まで輸出し続けることができる。特に沖合での採掘により新たなガス田が見つければ、この予測は改善される可能性がある。

天然ガス

2010年時点でのアフリカのガス
状況



- 総埋蔵量：
14兆5800億m³（世界の8.0%）
- 年間産出量：

2010	1609万m ³
2009	1544万m ³
2008	1503万m ³
2007	1539万m ³
2006	1550万m ³

première page



天然ガス

2035年までのアフリカの天然ガス状況予測
（現在確認されている埋蔵量および1日あたりの産出量による）



- 産出国として残るのは3カ国のみ、輸出を続けられるのはうち2カ国
- 沖合採掘によって供給量が増える可能性があるが、費用がかかる

première page



- ❖ 2035年まで石炭を産出できるのはアフリカ南部のみ。ナイジェリアにも石炭は埋蔵されているが、国内需要を満たすことができない。新たな石炭埋蔵地が発見されれば予測は改善される可能性がある。

石炭

2010年時点でのアフリカの石炭状況 (トン)



- 総埋蔵量：
547億トン (世界の8.0%)
- 年間産出量：

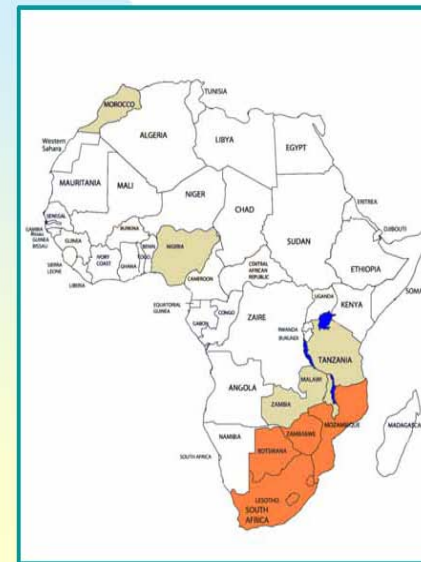
2010	2億7890万トン
2009	2億8330万トン
2008	2億7840万トン
2007	2億7560万トン

[première page](#)



石炭

2035年までのアフリカの石炭状況予測 (現在確認されている埋蔵量および1日あたりの産出量による)



- 石炭産出国として残るのはアフリカ南部のみ。
- 環境への懸念から大規模な利用はできない恐れがある。
- クリーンな石炭技術がより早く開発される可能性もある。

[première page](#)



- ❖ 国のエネルギー需要を満たすため、多くの国(特にアフリカ)が、主に化石燃料と水力発電に依存しており、環境が悪化してきている。
- ❖ こういった天然資源は有限であり、いつかは枯渇する。また、水力発電を利用し続けるにしても物理的・技術的な限界があるため、エネルギーの多様化を考える必要がある。
- ❖ その結果、
 - 自然エネルギー資源を保護する
 - エネルギーの選択肢を多様化し、最適な組み合わせを見つける
 - 環境悪化と地球温暖化を軽減する
- ❖ 持続可能な社会経済的発展: 利用可能な自然、経済的競争力、技術基盤、戦略的検討のほか、環境保全も考慮に入れた多様な種類のエネルギーへのアクセス

III. なぜ原子力なのか?

3.1 . ナイジェリアに原子力発電を導入する論理的根拠

- ❖ 人口1億7,000万人以上、年間成長率約3%のナイジェリアにおいて、エネルギー事情は非常に逼迫している。
- ❖ 現在運転中の施設(最近完成したNIPPプロジェクトの発電所を含む)では、8GWe程度しか発電できない。
- ❖ そのうち利用できるのは6GWeのみ。水力発電が1850MWe程度をまかなっているが、それ以外はガス火力発電によるものである。
- ❖ 進行中の新しい発電プロジェクトの多くがガス火力発電所に関するものであり、今後発電量が増加すると考えられる。
- ❖ 水力発電の発電能力には限界がある:利用できる水力発電施設を全て稼働させても、14GWeしか利用できない。
- ❖ 現在、石炭火力発電所は建設していない。
- ❖ 再生可能エネルギー(太陽光および風力)を利用した発電所も現在検討中であるが、これらは今後ベースロード電源の供給量に大きく貢献することはできない。
- ❖ 問題の要点:発電基盤の多様化と国内の化石燃料資源への負担を段階的に減らすことを目的に、2007年に原子力発電所プログラムが開始された。

表3.1: ナイジェリアの保有するエネルギー資源の推定量

資源の種類	推定保有量
原油	365億bl
天然ガス	187兆4,000億scf
石炭・亜炭	40億t以上
油砂	石油換算で310億bl
水力発電(大規模)	11,250MW
水力発電(小規模)	3,500MW
木質燃料	1,300万ha
動物糞尿	6,100万t/年
作物遺体	8,300万t/年
太陽放射	3.5-7.0 kWh/m ² (1日当たり)
風力	2-4 m/s (年間平均)

表3.2 国内における発電の現状

	発電所	場所	発電設備量 (Mwe)	利用可能量 (Mwe)
水力発電				
	カインジ	ニジェール	760	480
	シロロ	ニジェール	600	450
	ジェバ	クワラ	540	450
小計			1,900	1,380
石油火力発電				
	イジョラ	ラゴス	60	-
ガス火力発電				
	アフアム	リバーズ	726	60
	ウグヘリ	デルタ	900	300
	エグビン	ラゴス	1,320	1,100
	サペレ	デルタ	1,020	90
	ゲレグ	コギ	414	276
	オモトシヨ	オンド	304	96
	オロルンソゴ	オグン	304	96
小計			4,988	1,978
ガス火力発電NIPP (NDPH社) 建設中			5,454	-
マンビラ/ズンゲル水力発電所 建設中			1,000	-
石炭火力発電				
	オジ川	エヌグ	30	-
合計			6,978	3,358
			将来 (5年)	13,432
資源別の発電割合			水力発電 (%)	ガス発電 (%)
現在			27.2	71.5
将来 (5年)			21.6	77.7

表3.3: 原子力の特徴

長所	短所	性質／達成可能な事項
<ul style="list-style-type: none"> ■ 保守・運転コストが低い ■ 発電コストが一定かつ予測できる ■ 寿命が長い(50～60年) ■ 供給が保証されている(保険料) ■ 外部費用が少ない(現在までに支払いはなし) ■ 気候変動に与える影響が少ない ■ 稼働率と設備利用率が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 前払いの資本が高額で、資金の捻出が難しい ■ 金利に大きく左右される ■ リードタイムが長い(計画、建設など) ■ 返済期間が長い ■ 規制が不確か／政策に対するリスク ■ 市場リスク: 予算超過および建設の遅れが発生しやすい ■ 長期的な政府のコミットメントと公衆の支持が必要(安定した政治・政策が求められる) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 技術および人的資源の訓練が必要 ◆ 高い安全基準が必要 ◆ 放射性物質の安全保障および安全装置が必要 ◆ 監視に関して国際制度の遵守が求められる ◆ 国際条約および協定への批准が求められる

3.2 ナイジェリアの原子力発電所概要

- ❖ ナイジェリアの原子力ロードマップは「技術フレームワーク (Technical Framework; TF)」と呼ばれ、2007年2月にFECが策定、実行許可を得た。
- ❖ TFは3フェーズあり、多くの国民の協力を得て、10年～12年後には原子力発電プラントでの発電開始が見込まれている。
- ❖ TF実施戦略は、IAEAマイルストーン1の達成で、2009年12月にまとめられた。各フェーズは以下で構成されている。
 - 人材育成とインフラ開発
 - 設計認証、規制当局の承認、運転認可の取得
 - 建設と運転開始
- ❖ TFを細部まで遵守して実施すれば、2020年(2022年?)に最初の原子力発電プラント(1000MWe)が商業運転を開始し、2030年までに段階的に稼働可能なプラントが4基に増加する(4000MWe)。
- ❖ 現在実施中のマイルストーン2における主な活動は、重要な原子力発電基盤(NPI)の開発とサイト特性評価である。

図3.1: NPPプログラム開始における基本事項

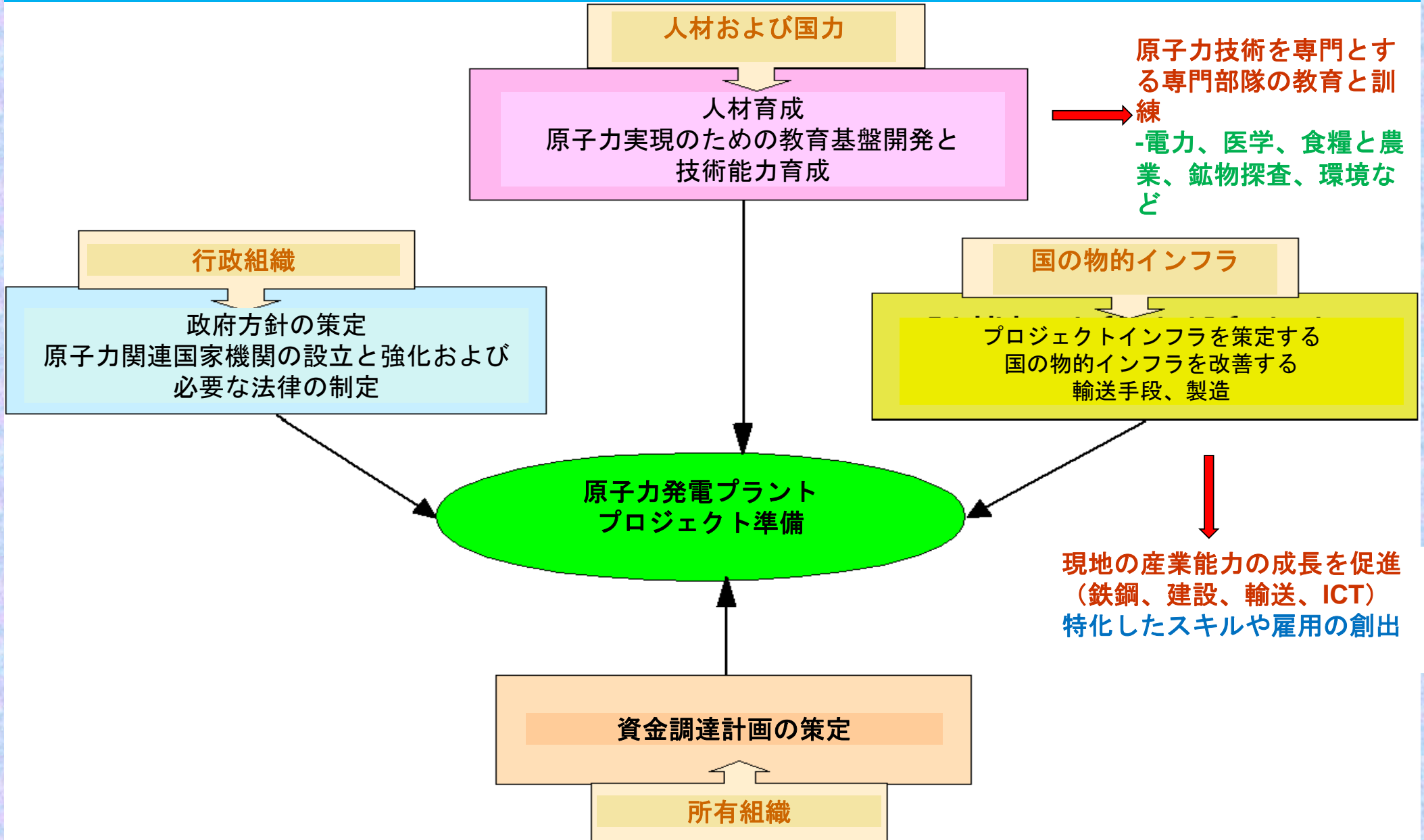
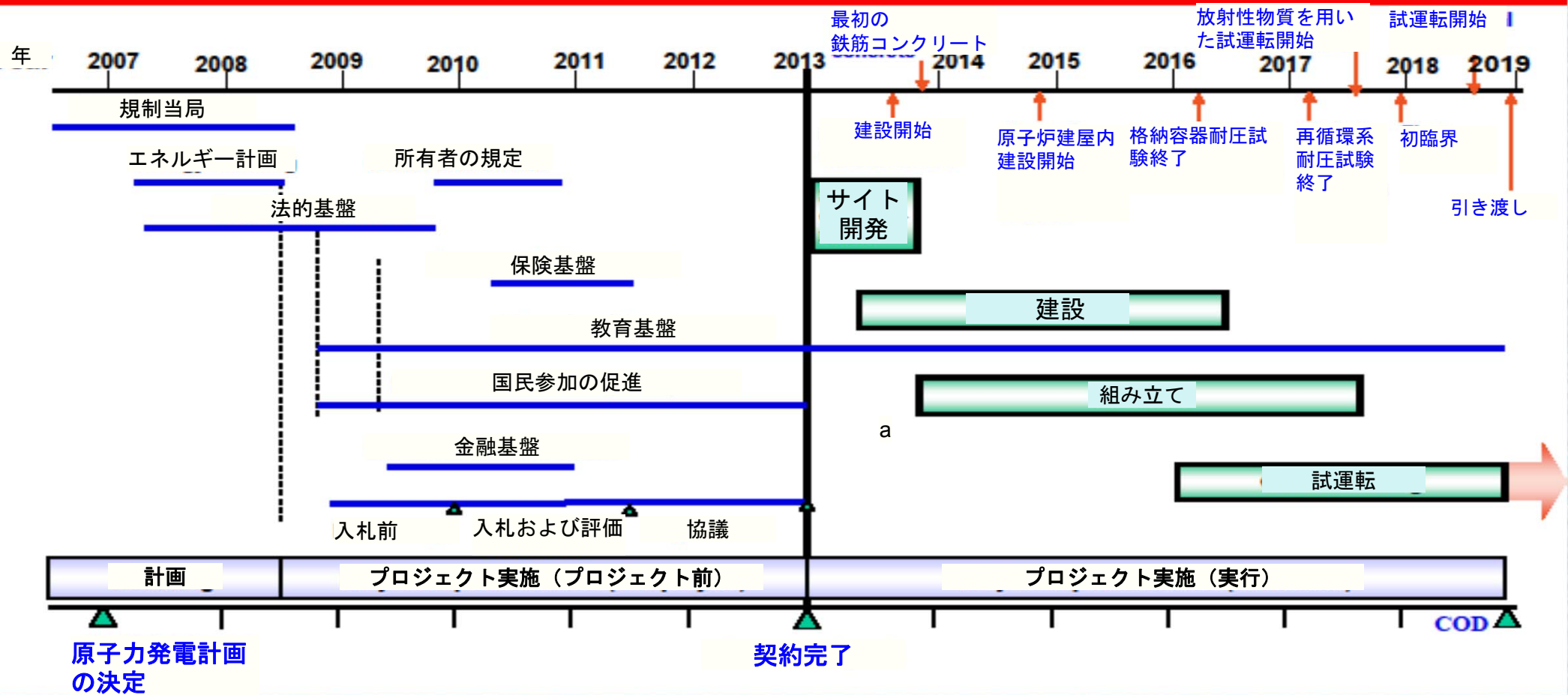


図3.2: NPP稼働までのスケジュール

原子力プロジェクトにおける重要なマイルストーン



3.3 原子力発電プログラム進捗記録（1）

法律制定

国の議会在NAECとNNRAの決議書に改訂を加え、プログラムをさらにしっかりと実施できるようにするなど、いくつかの進展があった。

規制と政策

- ❖ 原子力発電所サイト認可における安全要件および規制要件の完成
- ❖ 国のまとめた放射性廃棄物管理に関する政策をNAECが完成
- ❖ 国家原子力保険政策およびスキームを策定し、原子力産業における民事責任事項に十分に対応

承認および 適応

プロセスを開始して積極的に政府を感化し、その他の関連する国際法、条約、協定を承認・適応させる

3.3 原子力発電プログラム進捗記録(2)

NPIの構築

- 2009年12月以降、IAEAマイルストーン3つのうち1つを達成
- 国家原子力発電基盤(NPI)開発において重要な教育訓練基盤を設置

提携

- IAEAや他の開発パートナーとの協力を強化
- ロシア連邦のROSATOMとの協力協定に署名し、その後FECが同協定やその他の現在進行中の協議を承認、認可

HRD

- 国家原子力発電プラントプログラムに要する労働力および必要な施設の建設に見合ったHRD戦略を完成させる

NPPサイト

- 事前サイト選定活動の完了: 望ましいサイトについては政府からの承認に向け詳細な評価と特徴付けを実施: -コギ州アジャオクタLGAのゲルグ、アクワ・イボム州のイトウLGA
- 承認されたサイトにおいては**2014年**下半期までに運転認可を得る

iv. 重要な国家原子力基盤の構築 に求められる要件

4.1: 必要な国力を育成する

- ❖ 国家戦略を策定し、国の準備を万端にする。これは原子力発電プラントを問題なく稼働させる上で非常に重要である。
- ❖ 国の準備には以下が含まれている
 - 人材育成
 - 教育基盤の開発
 - 国に求められる技術力
- ❖ 国に求められる技術力の構築は、最初の2項目に依存しており、これらの要素が国家原子力発電基盤(NPI)を成す。
- ❖ 国家人材育成戦略は、上記全ての要素を管理するために策定されたものである。

4.2: HRD戦略の目標と目的

- ❖ 国家人材育成戦略はあらゆる目標を達成し、以下を実現するために策定された
 - 国家原子力プログラムの効果的なプロジェクト計画、管理および持続可能な実施のため、原子力技術に関する深い基礎知識を有するナイジェリア人科学者や技術者を育てる
 - 高いレベルの基礎知識や実務経験を有する科学者、技術者、科学技術者、専門家の特殊部隊を養成し、プロジェクト実施のため持続可能な人材プールを構築する
 - あらゆる場面で最適な原子力技術を発揮することのできる、資格を持った人材の輩出に対する国の要求に応える
 - 応用研究、革新的発見、技術の適応などに従事する科学者と技術者の専門組織を設置する

4.3: 訓練施設

- ❖ 原子力科学および原子力技術における標準的な訓練プログラム(大学院生、大学生、科学技術者、専門家)は、研究室、ワークショップ、IT施設といった最低限の物理的な施設を備えていなければならない、指定機関で同じ内容を教育しなければならない。
 - 研究室とワークショップは必要な原子力計装施設と訓練機器を備えていなければならない
 - 訓練プログラムに参加している機関で設備や人材の共有のため、ネットワークの構築による協調と連携の実施
 - 新しい重要な実用機器や関連研究施設を提供するほか、既存施設も改修する
 - 付録に記載されている国内の原子力エネルギー研究センター7か所において、現在、多様なNPI訓練の策定や、研究施設の改修を実施しているところである

v. 所有者、資金調達、資金供給

5.1 原子力基盤開発と国の資金調達における要件

- ❖ 新規参入する国における原子力開発でよく見られる特徴的課題は、所有者を問わず、計画期間を含め最低20年以上にわたるプログラムに対する長期的な国の(政治的)コミットメントと持続可能性である。
- ❖ この課題を克服するには、幅広く国民からプログラムを認めてもらうことが必要であり、政治的派閥を超えプログラムを継続させることが求められる。
- ❖ 原子力基盤開発のための資金調達と資金供給や原子力発電プラントの建設には長い時間がかかり、かつ難しい。
- ❖ 資金調達とは、最低限の原子力基盤開発に対し政府が最初に財政的責任を負うもので、国家予算で割り当てられた額が充てられることが多い。
- ❖ 原子力基盤開発資金を調達する政府の責任や国家能力は、成功・不成功を決定づける重要なものである。原子力発電プラントの建設資金を提供してくれるベンダー・事業者・民間セクターを惹きつけられるかが鍵である。

5.2 所有者、資金調達、資金供給の構造

- ❖ NAECは、法律上は運転組織の所有者となっているが、実際は任務をスムーズにこなせるよう補助する役割のみを担う。NPP所有者/運転組織(NPP-OOO)の体制は、政府のNP資金供給モデルに対する政策により変わる。
- ❖ FGN(ナイジェリア連邦政府)は、NPプログラムを今後も継続できるような環境を整備する。NPP-OOOは、国の法に従い「ジョイントストックカンパニー(JSC)」という特別目的事業体(SPV)となり、海外技術パートナー(FTP)としてコーポレートガバナンスを行う。
- ❖ JSC FTP、認められたNPPベンダー、および(または)NPP事業者が過半数を出資し、管理する。国営事業体は少額。役割は契約書に記載する。
- ❖ 世界的に、BOOとBOOTがNPPには魅力的になってきている(トルコ-ロシアのアックユ・プロジェクト、直近ではバングラデシュ&ヨルダン)。
- ❖ BOO(T)、FTPおよび(または)投資家は、プロジェクト実施のために必要な出資金と技術情報を提供する。
- ❖ FGNとFTPの国の政府は、政府間協定(IGA)を結び、所有者体制やプロジェクトの資金供給を整備する。
- ❖ BOO(T)契約を成功しやすくするためのFGNの重要な役割として、より進化した電力購入契約(PPA)の制定と実施がある。

図5.1: ナイジェリアNPプログラムにおける資金調達および資金供給の内容

<p>時間軸</p>		
<p>NPPプログラム実施における要素と内容</p>	<p>NPI開発の資金調達 設計認証の資金調達 法/規制基盤 サイト評価、運転許可、入札、契約など</p>	<p>建設費用の調達とNPPの試運転 - 4基 各1200MW(合計4800MW) - 1基目のCOD-2022年 - 4基目のCOD-2030年</p>
<p>成功できる持続可能な実施のための財源</p>	<p>N6b~N8b/年で5年間 (NPP費用の0.8~1.25%)</p>	<p>推定契約費用 50億~60億米ドル/原子炉 合計200億~240億米ドル</p>
<p>誰が財務責任を負うのか</p>	<p>ナイジェリア連邦政府が負担</p>	<p>ベンダー/事業者がBOOT契約モデルを通じ調達する。 FGNがNPPベンダー企業の国の政府とIGAを結ぶ。FGNの所有する株は出来るだけ少なくする。 進化したPPAを実施する。</p>

VI. 中期的プロジェクトの成果、 副次効果、課題

6.1 NPI開発と技術フィードバック

- ❖ 短-中期的財政要件は、教育訓練施設の建設やHRDといった重要な原子力基盤(NPI)構築のための資金調達である。
- ❖ 施設は以下を含む
 - 必要な原子力計装施設と訓練機器を備えた研究所とワークショップ
 - IT施設と通信インフラ
 - 訓練プログラムを実施している施設間で人材を共有し、連携やネットワーク化を通じて施設を一体化
- ❖ NPI要素の開発を実施し、フィードバックを重要なSTI基盤の開発に積極的に組み入れ、国の教育施設を向上させる
- ❖ NT教育プログラムと施設開発は、電力以外の開発でも応用できる
 - 健康、農業、環境管理、産業など

6.2 プロジェクトの成果: 容易に解決できる問題

- ❖ 最も重要で、直後に表れたプログラムの成果は、国を発展させる原子力技術を効果的に発揮するための、質が一定かつよく訓練された国内人材ベースができたことである。原子力(2022年までに1,000MW、2030年までに4,000MW)
- ❖ NP開発に加え、訓練された人材は以下のような他のNTに応用する際にも役立つ。
 - 健康(放射線治療、核医学)
 - 食糧および農業(SIT、加工、保存)
 - 放射線防護
 - 環境管理
 - 核安全保障、核保障措置
 - 産業およびその他のあらゆる科学分野への応用
- ❖ 国家能力を育て、技術獲得や技術改革能力を強化するために、国内の施設に持続可能な物理的・科学的・教育的基盤を作る。

6.3 技術管理における課題

- ❖ 国の技術保守文化を深め、原子力技術管理に効果的に応用する。
効率化文化を追求する！
- ❖ 原子力発電プラントの開発や運転に付随する安全保障問題を管理し効果的に組み入れる。これには以下が含まれる。
 - 原子力専門家の訓練に、安全保障および安全文化を組み入れる
 - 関連する安全保障機関と協力し、プログラムの初期段階から国の安全保障に対するコミットメントをより強固にする
— 原子力安全保障センターの設立
 - 必要な原子力安全保障基盤に投資する
- ❖ プログラムの実施に際して、国は透明性を保証するとともに安全を追求し、民間主体の原子力プログラムに対して世界から継続的に信用を得る。

VII. まとめ、結びの言葉

- ❖ 気候変動を示す十分な科学的根拠から、気候変動が現実のものであることは、懐疑論者の目から見ても明らかである。原子力の拡大が気候変動軽減する効果をもたらすという証拠は、多数存在する。
- ❖ 原子力が健康状態を改善させるということも、それほど議論とならなくなった。最近のジェームズ・ハンセンらの研究によると、化石燃料の代わりに原子力を世界規模で用いることで人命が救われている、という考え方が広く受け入れられつつある(1971年～2009年で184万人)。
- ❖ その他の電力源に対する原子力の経済面に関しては異なる見解もあるが、原子力の活用が広がることで、限りある天然資源である化石燃料の効果的な管理・保存に大きく役立つと考えられる。
- ❖ 経済の別セクターにおいて高い利用価値を有するこれら化石燃料の保存を強く望む声が上がっている。これにより持続可能な発展が生じるとともに、深まっ
ていくと言える。
- ❖ 福島第一原子力発電所事故からの着実な復興と大々的な原子力改革を考慮すると、特に原子力を初めて導入する途上国において、長期にわたって原子力を維持することができるよう、世界規模での取り組みをさらに推し進めるべきである。

- ❖ 新規参入国での様々な新しいプログラムの成功と持続可能性は以下によって決まる。
 - 必要な国家原子力基盤と能力強化の開発を成功に導く安定した国内機関とのネットワーク
 - 輸送、電力供給網、重工業などの幅広い活動と機能をカバーする国家および産業基盤のネットワークの強化
 - 効果的な労働力の育成、後継者計画、原子力知識管理のために、固有のメカニズムを用いた頼りになる専門的な人材の土台を作る戦略の策定
 - 大部分を民間セクターが担い、適切な政府間協定による支援を行い、長期にわたって国の資源を充当する独創的かつ実用的な資金供給計画の策定

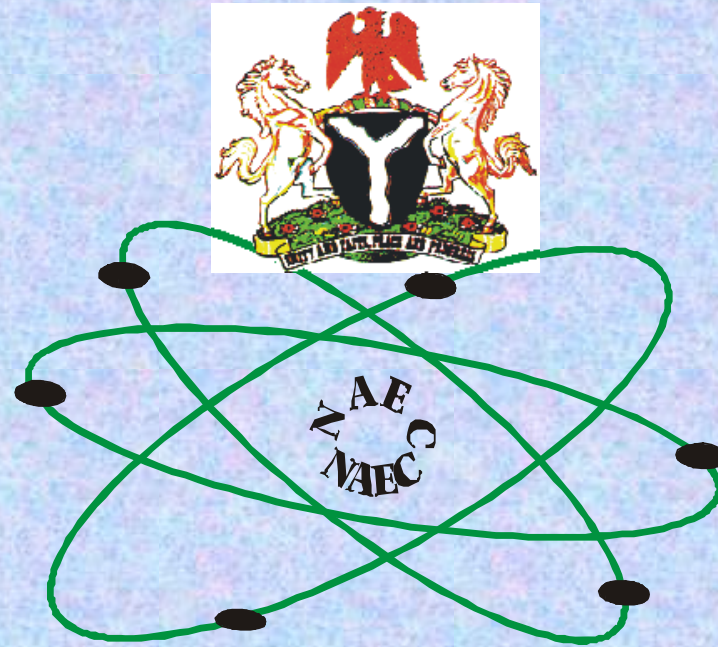
- 原子力は「その場しのぎ」ではない。従って、あらゆる国におけるエネルギー問題を解消するための大規模な国家戦略は、様々な手段を用いた多次元的なものでなければならず、持続させるために短期的・中期的・長期的計画を立てることが必要なのは明らかである。
- ❖ こういった課題はあるものの、原子力プログラムの成功による利益は、苦労を遥かに凌ぐものである。

元気づけの言葉: 故ウマル・ヤラドゥア元ナイジェリア大統領

「能力を身につけ、発電のために原子力を活用する必要がある。将来、原子力は唯一のエネルギー源となるかもしれない。我々は将来のことも考えなければいけないのだ」

希望の言葉: トニー・ブレア元英国首相

「福島第一原子力発電所事故後、多くの国が原子力に抵抗を感じ始めた。個人的には、この事故が原因で原子力の可能性が閉ざされてしまうのは、大きな間違いである。教訓得て慎重に振り返ると同時に、技術をさらに進化させ、向上させていく術を模索していかなければならない」



ご清聴ありがとうございました。