

インドの原子力



2018年10月
JAIF 国際部

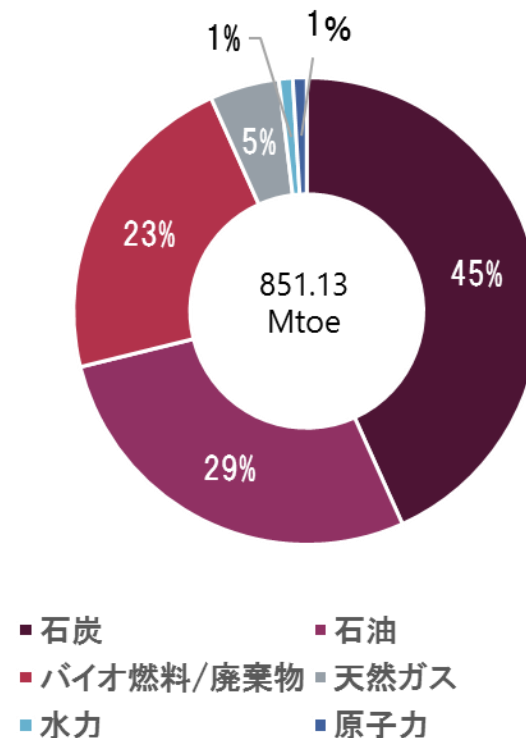
目 次

- インド概観
- インドの発電目標
- インドの発電の現状と見通し
 - 一総発電設備容量、総発電電力量
 - 一発電設備容量推移、今後の発電設備容量の見通し
 - 一今後の発電量の見通し
 - 一インドのCO₂排出量
 - 一インドの電力アクセス度（１）（２）
 - 一世界の地域別エネルギー需要の変化
 - 一世界の地域別電力需要予測
 - 一主要国・地域の電源別発電量シェア
 - 一原子力発電規模上位５か国・地域
- インドの原子力開発の特徴
- インドの原子力開発の歴史（１）（２）
- インドの原子力開発
 - 一初期の海外技術の導入、タラプール発電所運転開始
 - 一３段階の原子力発電計画
 - 一PHWR開発の歩み
 - 一FBR開発、将来のFBR建設計画
- インドの原子力関係機関
- 運転中と建設中のサイト
- 計画中のサイト
 - 一承認・財政措置済のプロジェクト
 - 一将来の建設に向けた“原則”承認済のサイト
- インドの原子力発電所運転状況
- 最近の動き（１）～（４）
- インドの二国間原子力協定の締結状況
- インドの主な原子力関係条約
 - ・協定の加盟状況（１）（２）
- インドのIAEA保障措置対象施設（１）（２）
- 【参考】
- インドの原子力損害賠償法関連
- 今後の発電設備容量の見通し
- 発電設備容量と発電量の見通し
- 2017～27年の間で運転開始が見込まれる原子力発電所

インド概観

項目	
面積	328万7,469km ²
人口	13億1,690万人(2017年：IMF数値)
首都	ニューデリー
主要産業	農業，工業，鉱業，IT産業
名目GDP	2兆2,635億ドル(2016年：世銀資料)
一人当たりGDP	1,709ドル(2016年：世銀資料)
GDP成長率	7.1%(2016年度：インド政府資料)
一次エネルギー供給量	851.13 Mtoe(石油換算100万トン)(2015年)
一人当たりの一次エネルギー供給量	0.65 toe(石油換算トン)(2015年)
エネルギー生産量	554.39 Mtoe(石油換算100万トン)(2015年)
発電量	1兆2,420億kWh(2016年度)
一人当たりの発電量	940kWh
エネルギー自給率	65% (2015年)

インドの一次エネルギー供給構成
(2015年)

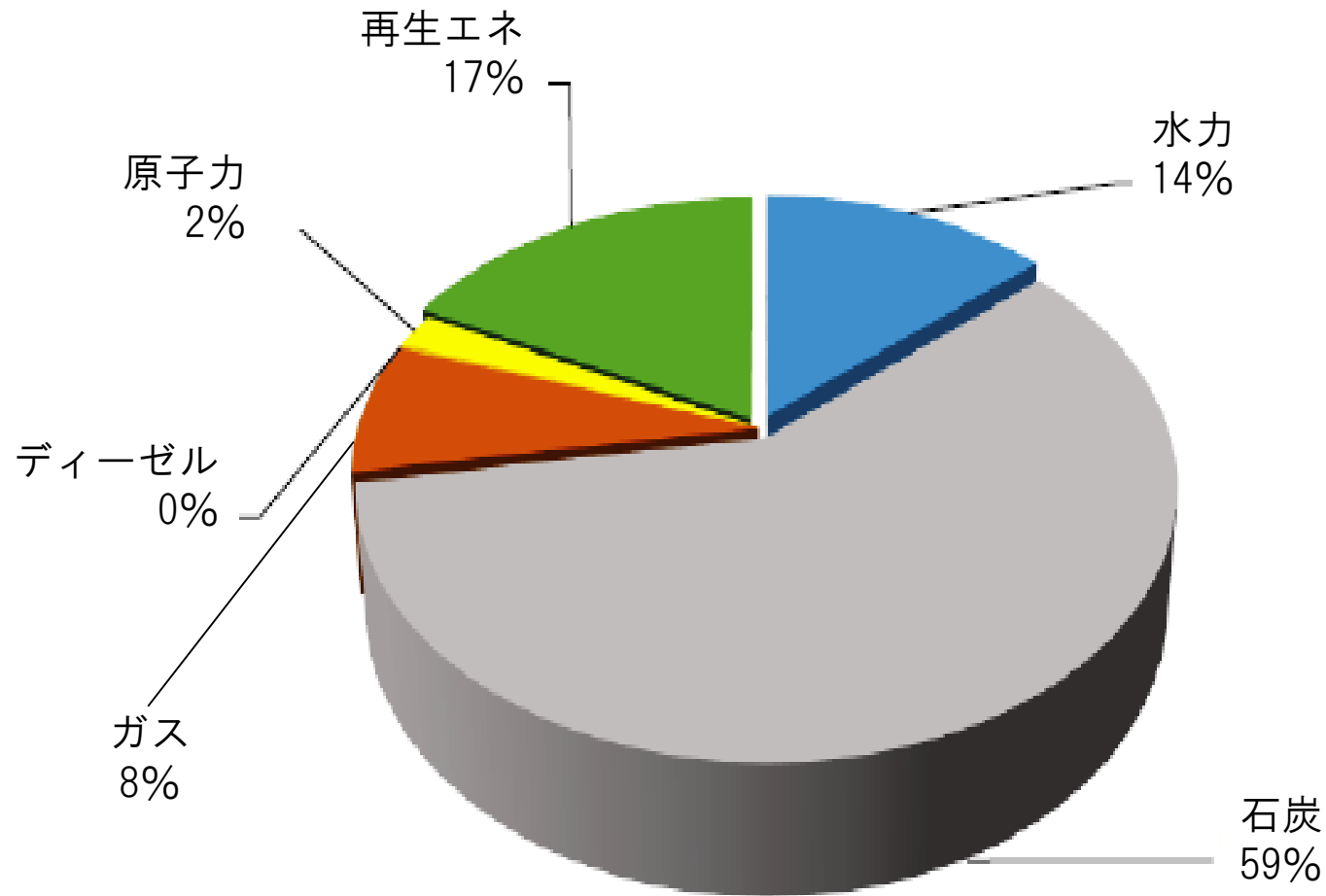


出典：外務省インド基礎データ、IEA Atlas of Energy、インド中央電力庁資料など

インドの発電目標 ー中長期電力計画委員会報告書などから

- エネルギー自給を達成し、すべての人々にクリーンかつ手頃な価格で信頼できる持続可能な電力を提供すること
- 2030年までに非化石燃料の発電設備容量を40%に引き上げる
2030年までにGDPあたりCO₂排出量を2005年比33～35%削減するとした約束草案（2020年以降の温暖化対策目標、INDC）を策定
- 2022年3月までの再生可能エネルギー導入目標を1億7,500万kW（太陽光1億kW、風力6,000万kW、バイオマス1,000万kW、小水力500万kW）と設定
非化石燃料ベースの発電開発に重点
（例：水力発電や石炭火力発電所のより効率的な超臨界技術導入）
- 原子力については、2006年のエネルギー政策のなかで2032年までに6,300万kWの導入目標を掲げているが、最近の国会答弁資料によると、実現は困難な見通し

インドの総発電設備容量（2017年3月31日時点）

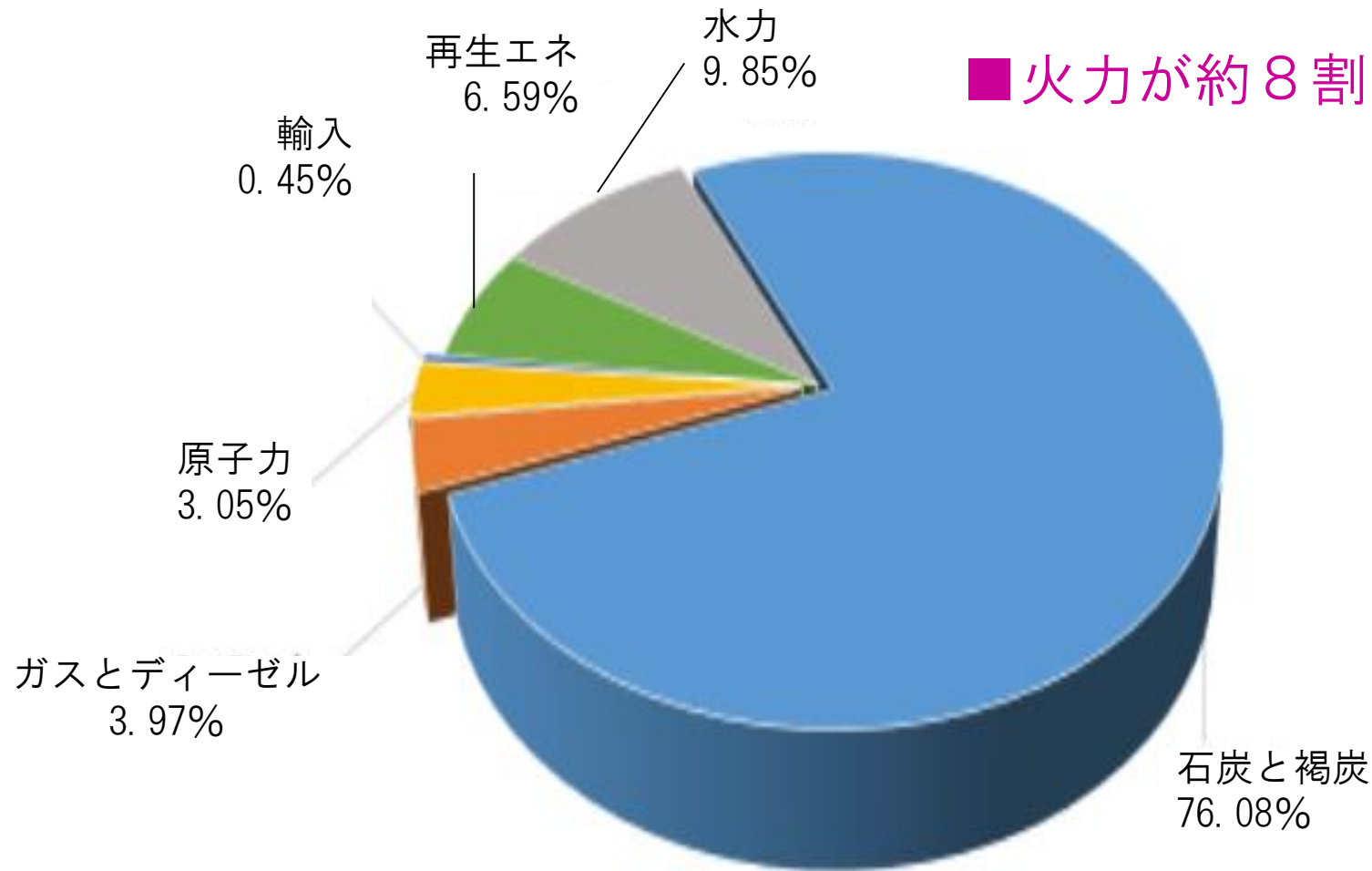


総発電設備容量：約3億2,683万kW

出典：中央電力庁「国家電力計画」（2018年1月）

インドの総発電電力量（2016年4月－17年3月）

■火力が約8割を占める

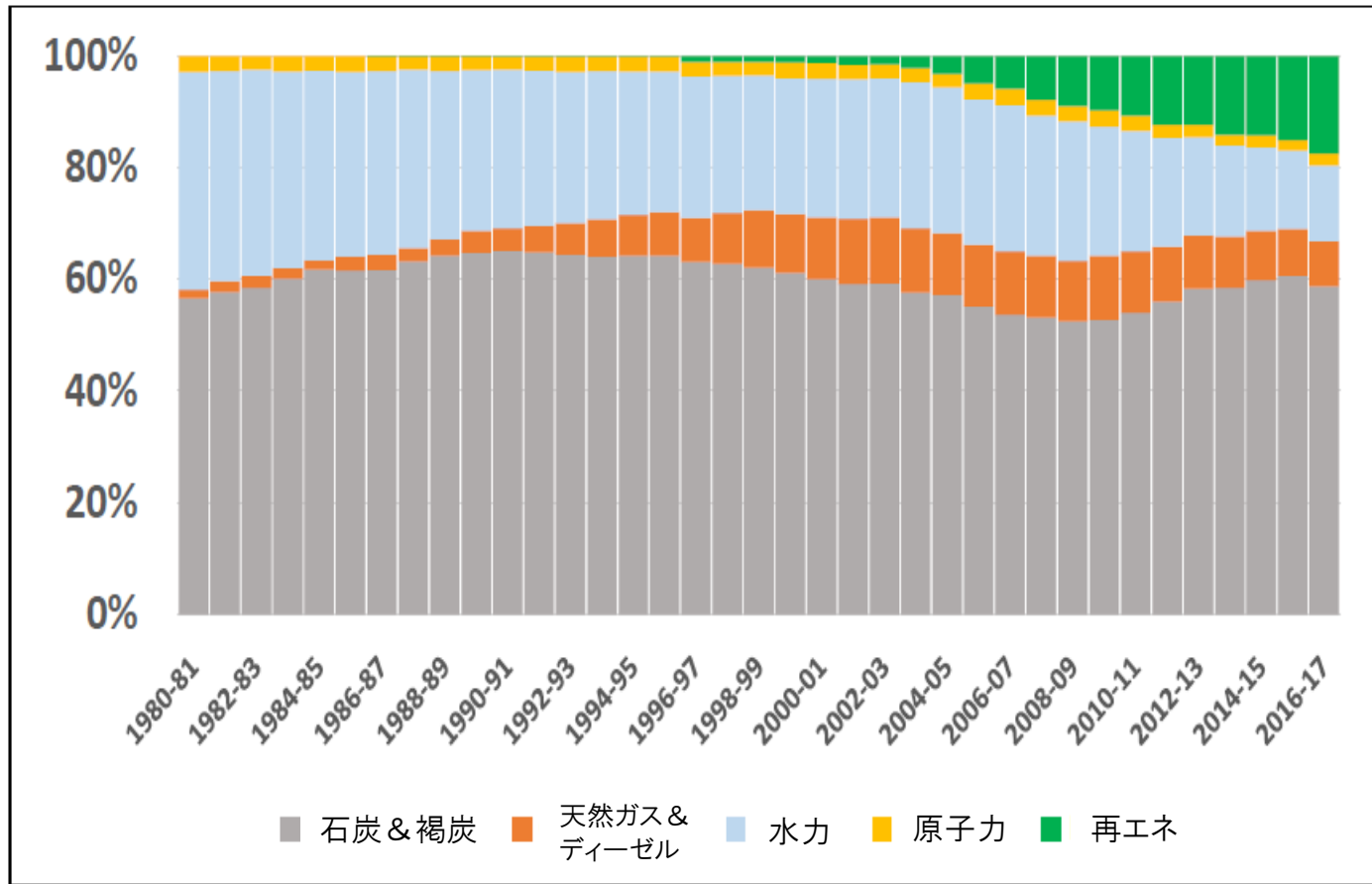


総発電電力量：約1兆2,420億kWh

出典：中央電力庁「中長期電力計画委員会報告書」（2018年1月）

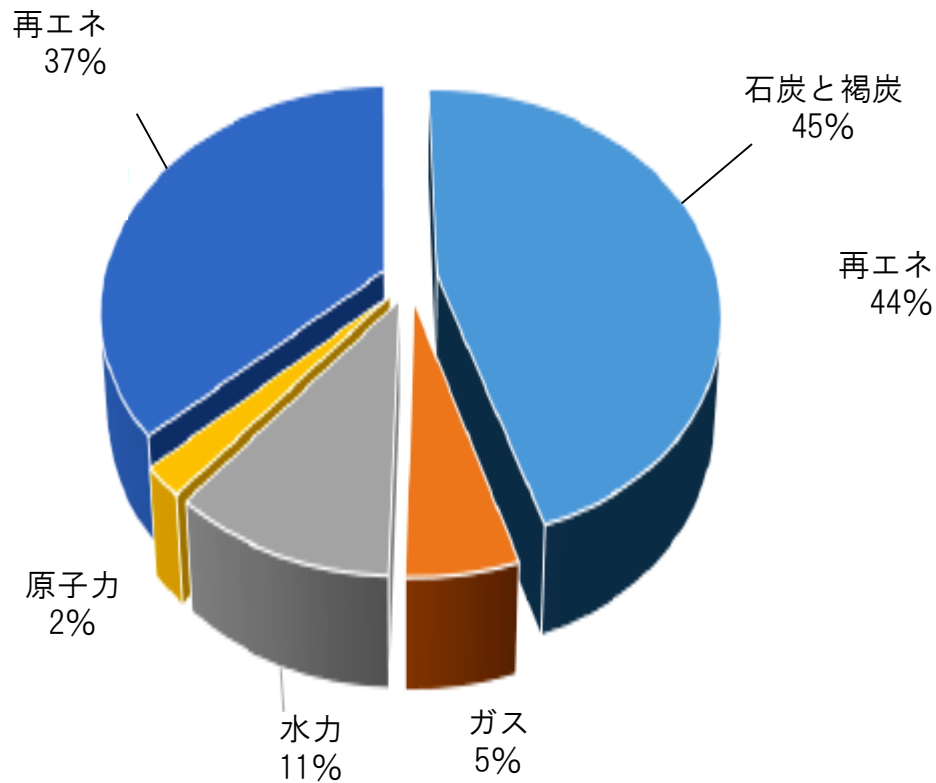
インドの発電設備容量の推移

■ 再エネの導入が進むにつれ、水力の導入比率が減少傾向

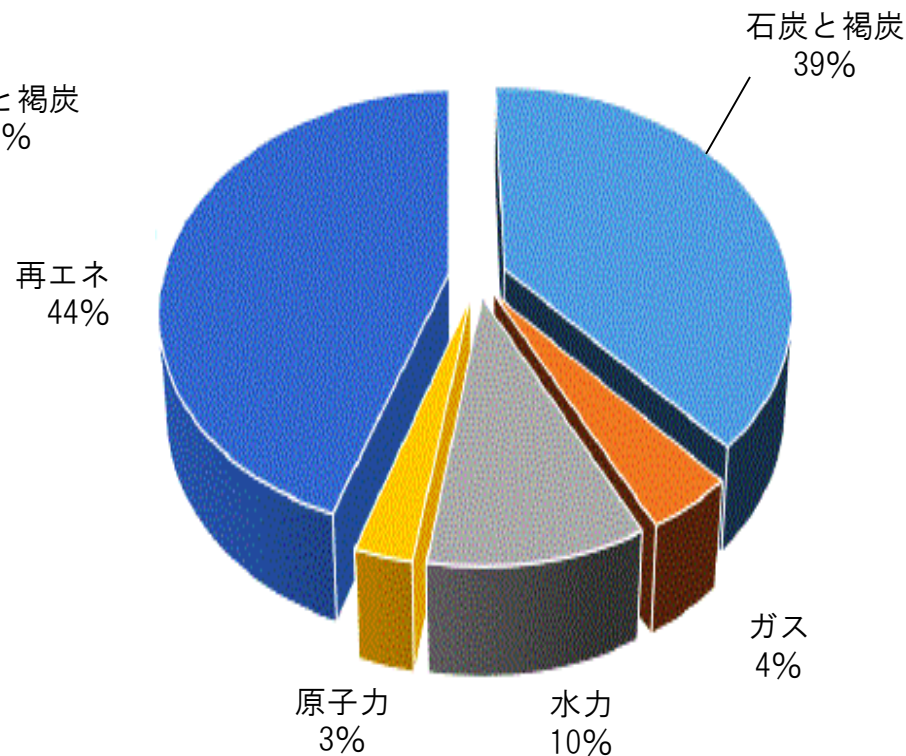


出典：中央電力庁「中長期電力計画委員会報告書」（2018年1月）

今後の発電設備容量の見通し



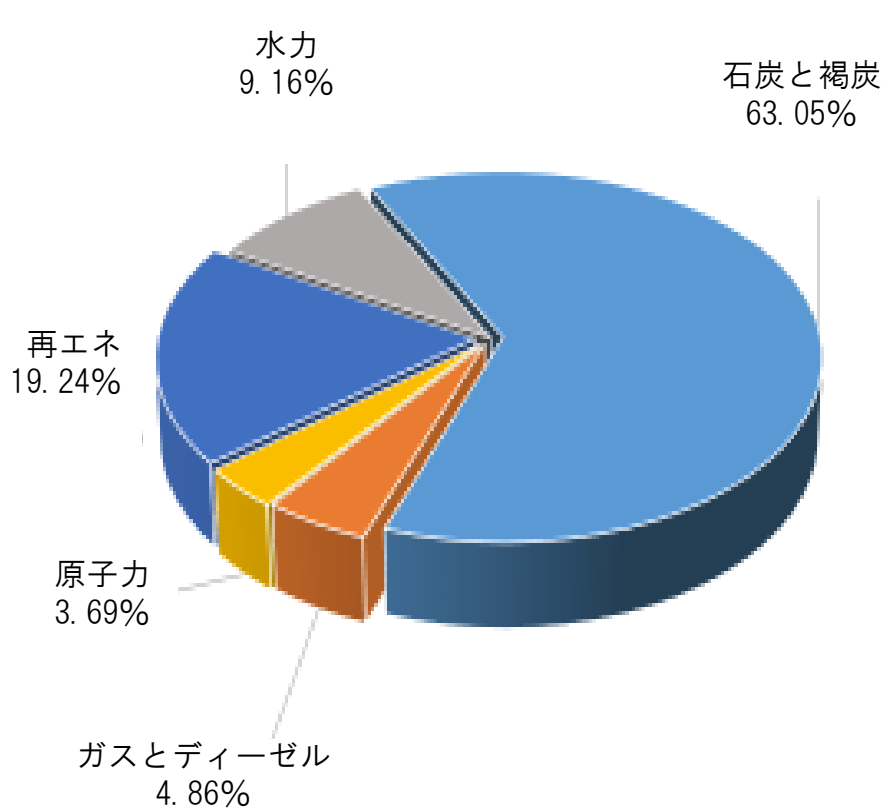
2022年3月時点の
総発電設備容量：約4億7,942万kW



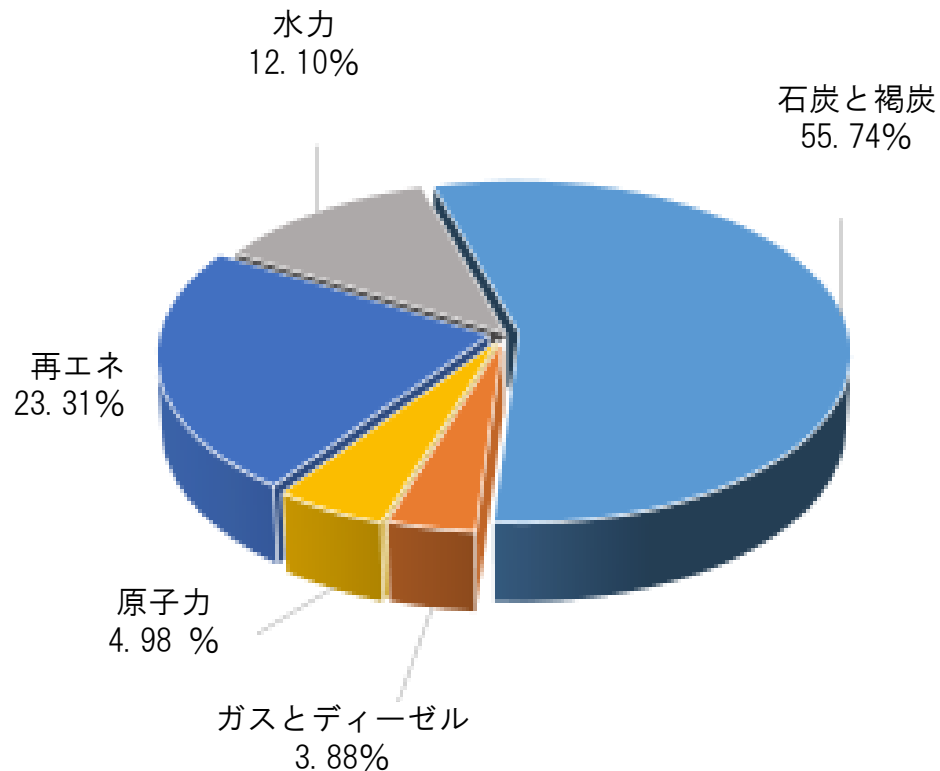
2027年3月時点の
総発電設備容量：約6億1,907万kW

出典：中央電力庁「中長期電力計画委員会報告書」（2018年1月）

今後の発電電力量の見通し



2021-22年の
総発電電力量：約 1 兆6, 998億kWh



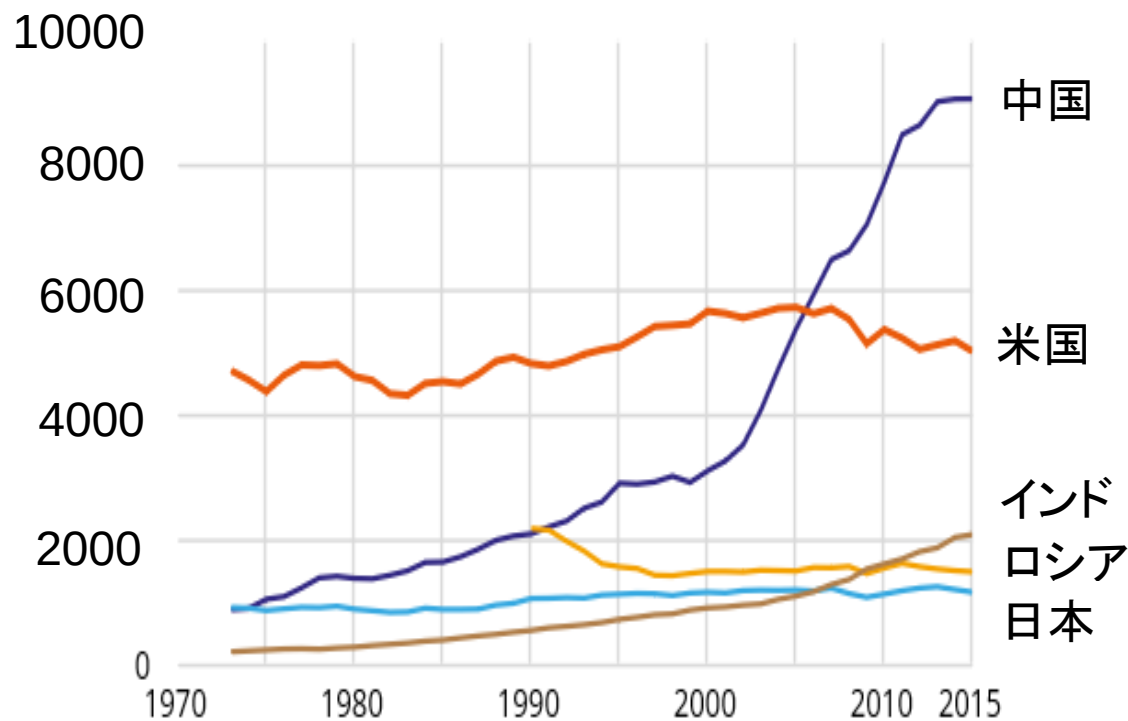
2026-27年時点の
総発電電力量：約2兆2, 226億kWh

出典：中央電力庁「中長期電力計画委員会報告書」（2018年1月）

インドのCO₂ 排出量

■ インドのCO₂ 排出量は世界第3位(2015年: 20.7億トン)

主要国のCO₂ 排出量(単位: 100万トンCO₂)



出典: IEA, CO₂ emissions from fuel combustion 2017

インドの電力アクセス度（1）

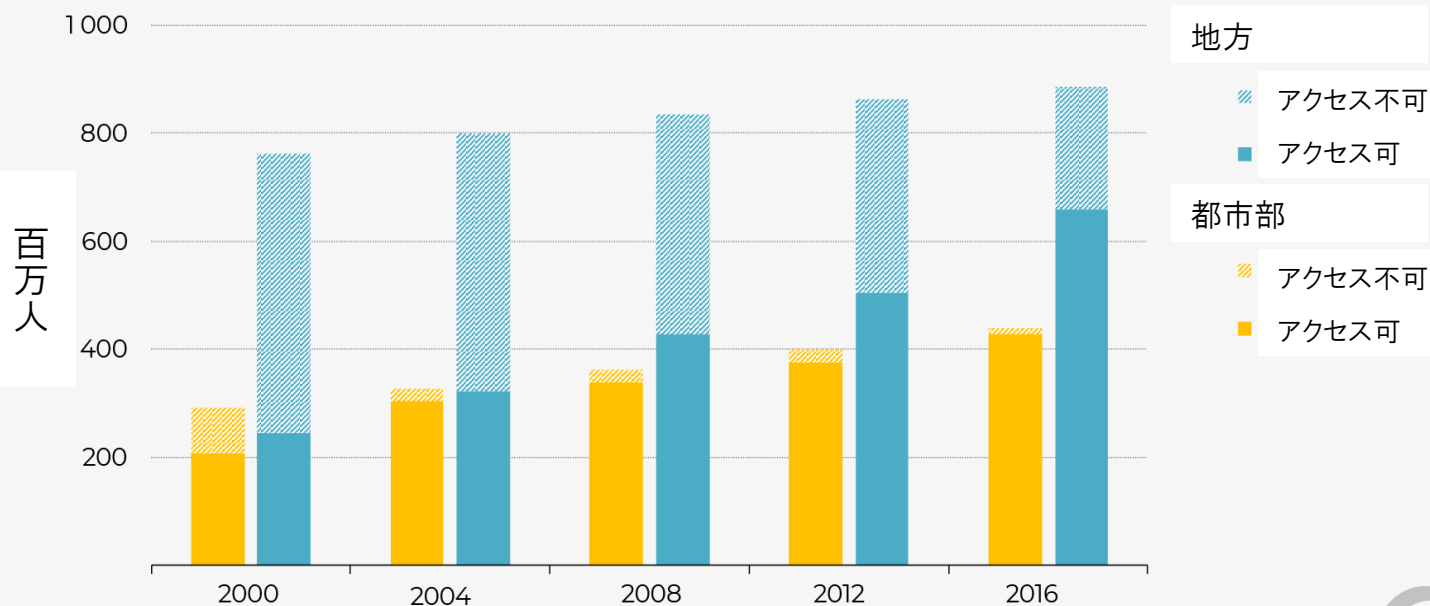
■ モディ首相は2018年4月28日、予定よりも早いインド全村落への電力供給達成を発表*

（*各村落内の一部に電力供給達成、全住宅全てに電力供給が達成されたわけではない）

■ 2000年以降、約5億人が電力へのアクセスが可能となり、電化率は2000年の43%から82%に上昇。しかし、2016年時点で**2億3,900万人**が未だ電力へのアクセスができない状況

電力へのアクセスができないインドの人口（2006-16年）

Energy Access Outlook 2017

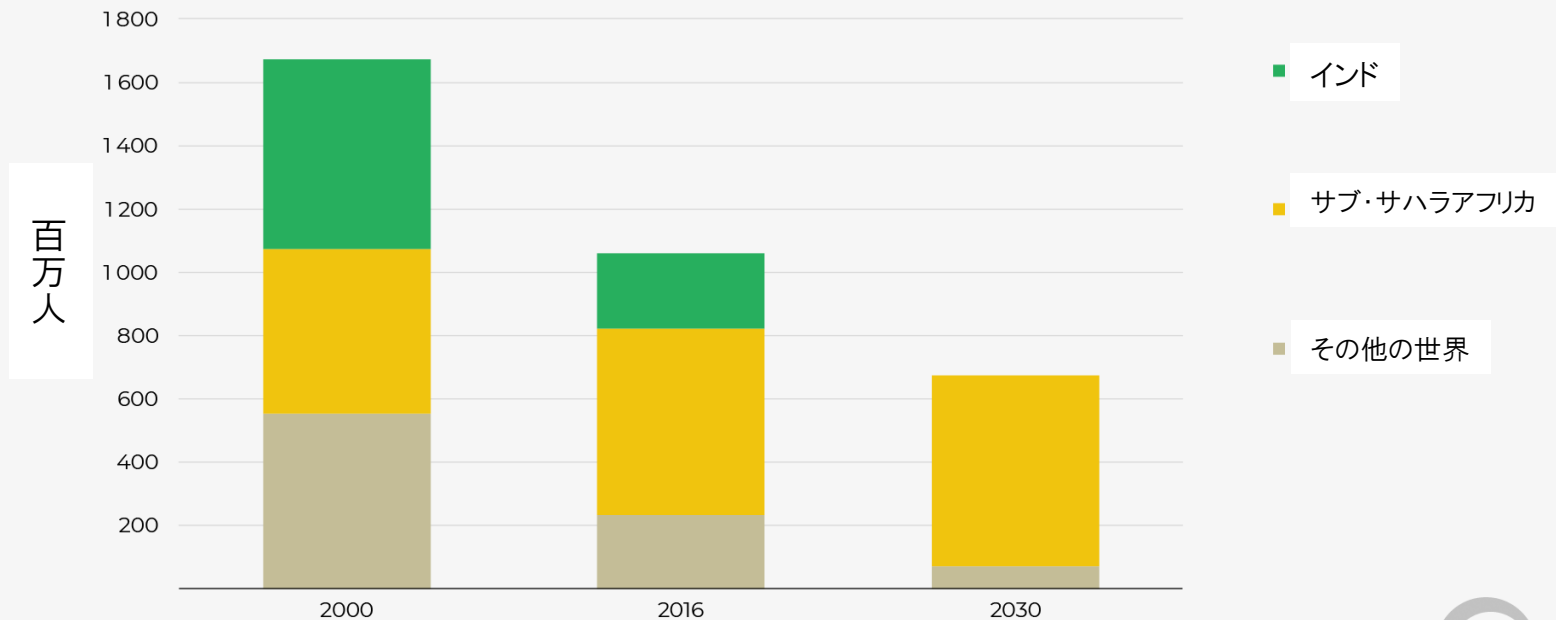


インドの電力アクセス度（2）

■このまま順調に進めば、インドは2020年代初めにも電力へのユニバーサルアクセスを達成する見通し

電力へのアクセスができない世界の人口（2000-30年）

Energy Access Outlook 2017



世界の地域別エネルギー需要の変化

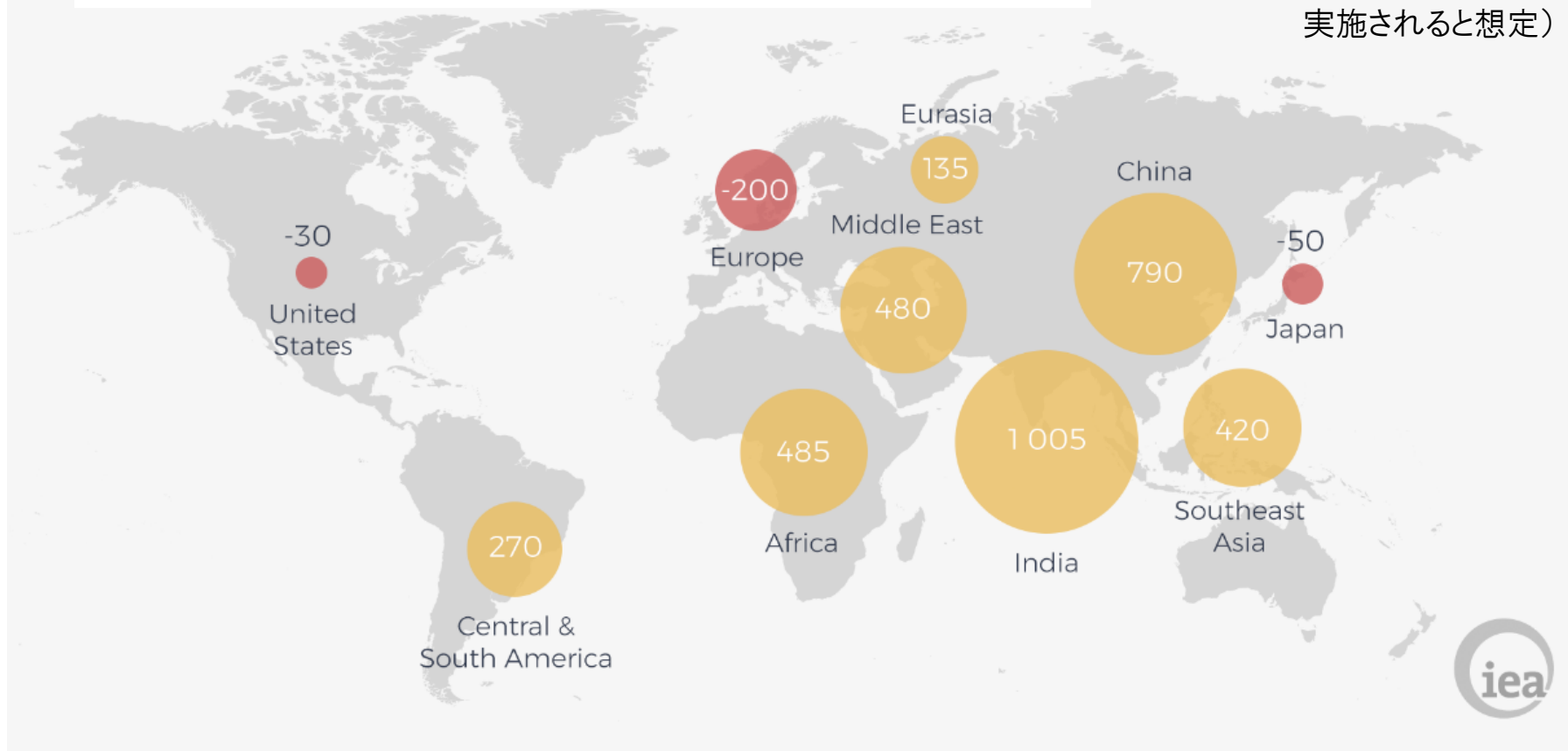
■インドが最大の増加

単位:Mtoe(100万トン石油換算)

一次エネルギー需要の変化(2016~40年)

World Energy Outlook 2017

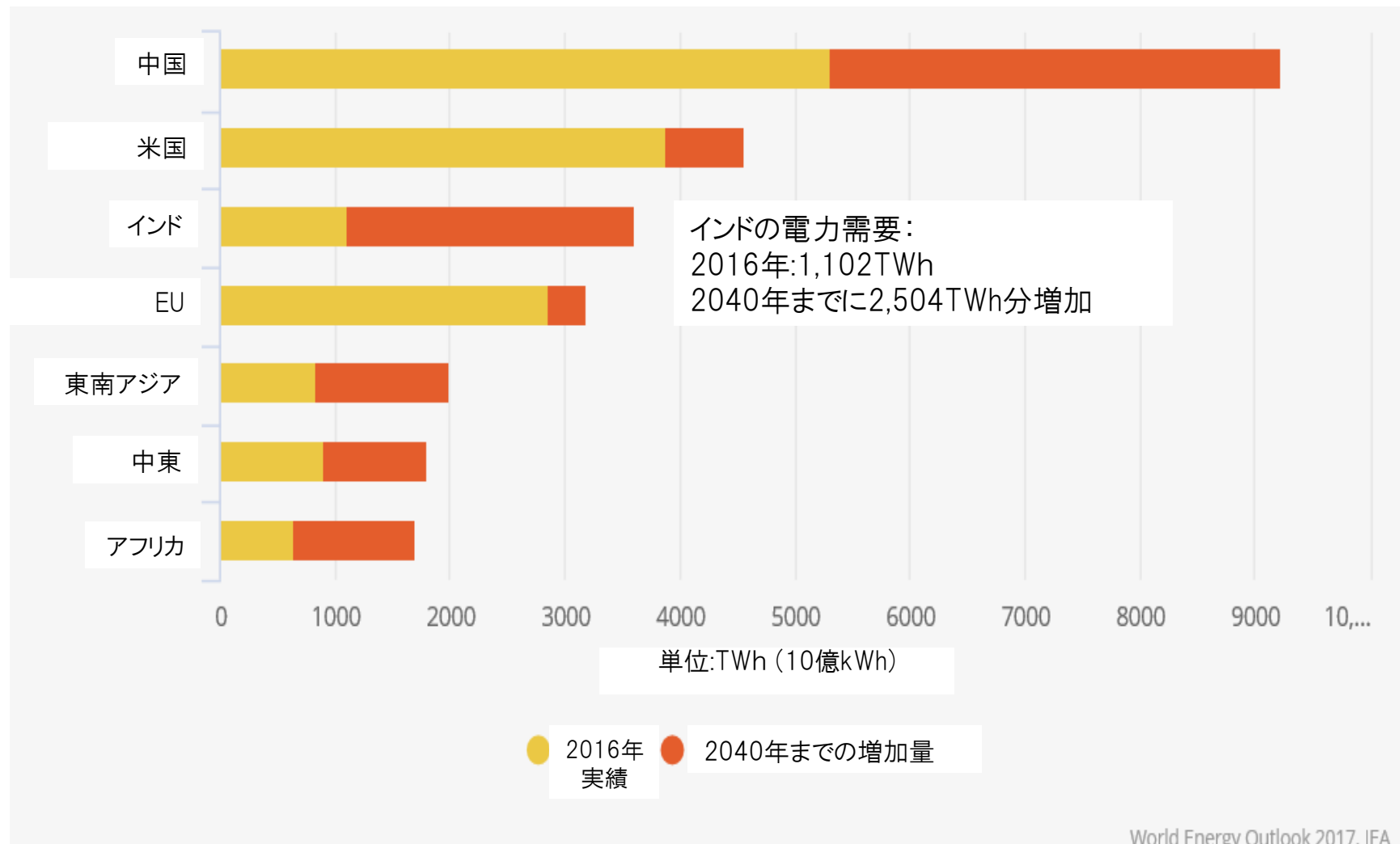
(新政策シナリオ=2017
年央に発表されたエネ
ルギー政策や関連計画が
実施されると想定)



世界の地域別電力需要予測

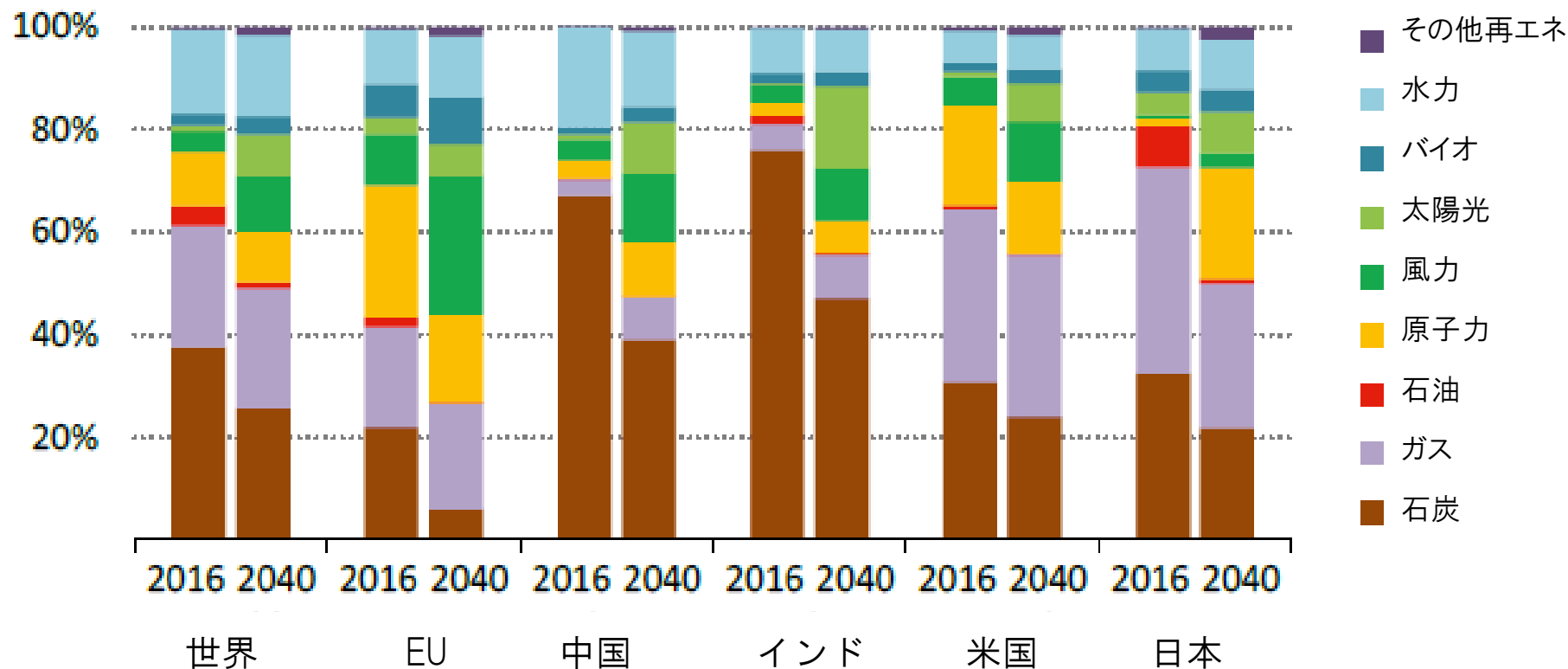
■世界的にも一層の電化が進む

(新政策シナリオ)



主要国・地域の電源別発電量シェア

■ 新政策シナリオの電力ミックス(発電量シェア)では、再生可能エネルギーが2040年にはほぼ倍増し、石炭の寄与が大幅に減少する



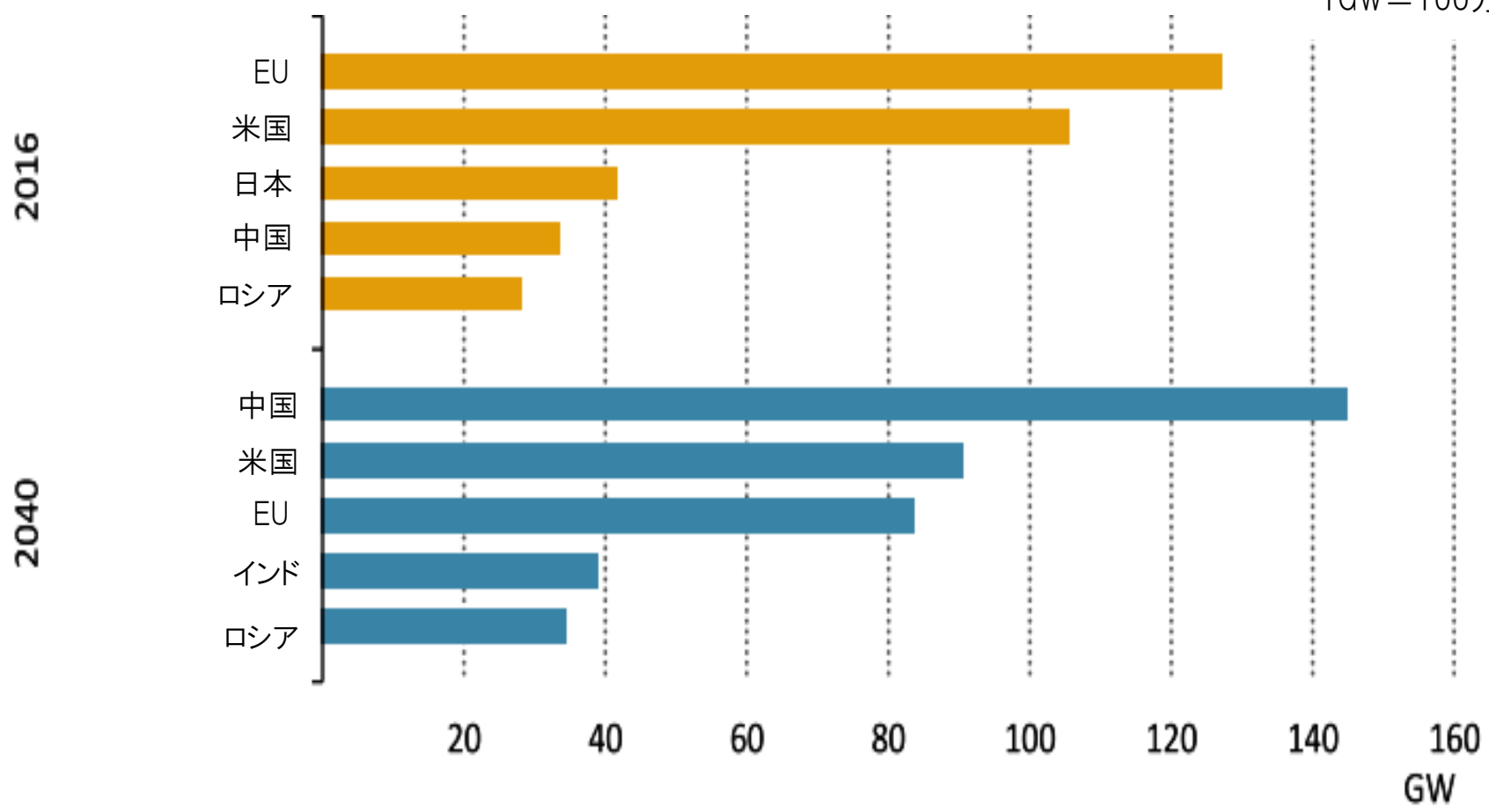
出典: IEA, World Energy Outlook 2017

原子力発電規模上位5ヶ国・地域

■ EUが原子力発電規模トップの地位から退き、
中国が首位に躍り出、**インドが4位になる**

(新政策シナリオ)

1GW=100万kW



出典： IEA, World Energy Outlook 2017

インドの原子力開発の特徴

- 国内に豊富にあるトリウム資源を背景に、重水炉を中心とした三段階の独自の原子力発電開発計画を推進

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの原子力開発の主な歴史（１）

年月	経緯
1945年	タタ基礎研究所(TIFR)設立 原子力研究開始 ※アジアで最も早く原子力研究をスタート！
1947年8月	インド独立(英領インドがインドとパキスタンに分離独立)

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの原子力開発の主な歴史（2）

年月	経緯
1983年11月	原子力規制委員会(AERB)設立
1984年1月	自主開発の重水型・マグナス1号機(22万kW)運転開始

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの原子力開発

■初期の米・加からの輸入炉を除き、**国産の重水炉**(PHWR)開発に注力

■現在、海外からの輸入軽水炉の建設拡大見込み

■高速炉開発も熱心： 実験炉FBTR(1.3万kWe) 1985年運転開始

原型炉PFBR(50万kWe) 2019年臨界予定

さらに複数基 計画・提案中

万kWe

500

※2011年以降、クダンクラム1, 2号機(VVER-1000)が

運転開始(5100kW、6700kW)

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

初期の海外技術の導入

■ タラプール 1、2号機

1969年 1、2号機 運転開始

BWR 16.0万kW×2基

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

タラプールで初の原子力発電所が運転開始(1969年～)

★アジア初

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

3段階の原子力発電計画（少量のU資源、大量のTh資源）

加圧重水炉・軽水炉

高速増殖炉

トリウム実証炉

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

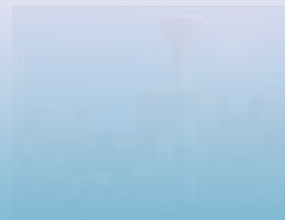
70万kW級

■原子力発電計画の目標:

「クローズド燃料サイクル戦略」により
2050年以降にエネルギー自給を実現する

■2017年5月、政府、国産10基の増設を閣議決定 2031年までに、70万kW・PHWRを4ヶ所に建設

54万kW級



カクラパール3、4

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

FBR開発

■高速増殖炉 PFBR(50万kW) (第2段階の開始)

- ープール型(タンク型)、ナトリウム冷却
- ーMOX燃料(Pu, U)O₂
- ー2次系、2ループ
- ーサイト:カルパッカム

■実施者:バラティヤ・ナビキヤ・ビデユト・ニガム社

■PFBRのこれまでの歩み:

- 2004年10月:建設開始
- 2004年12月:インドネシア沖地震による津波被害
- 2015年7月:建設完了
- 2017年10月現在:試運転中
- 2019年:初臨界予定

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

将来のFBR建設計画

提案中のFBR	設備容量 (電気出力、万kW)	建設開始年	営業運転開始年	建設サイト
FBR1	60	2021	2029	カルパツカム
FBR2	60	2021	2031	
FBR3	60	2025	2033	未定

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの原子力関係機関



सत्यमेव जयते

原子力委員会 (AEC, 1948年設立)

原子力規制委員会
(AERB)
1983年設立

原子力庁 (DAE)
1954年設立

公営企業

研究機関

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

運転中と建設中のサイト

注：図中に着工準備中のゴラクプール(PHWR2基)は入れていない



会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

運転中の原子力発電所

22基 (PHWR18基、BWR2基、VVER2基)・
計678万kW *FBTR除く

発電所名	出力(万kW) グロス出力	炉型	着工 (年/月)	営業運転開始 (年/月/日)	主契約者
カイガ1	22.0	PHWR	1989.9	2000.11.16	複数
カイガ2	22.0	PHWR	1989.12	2000.3.16	複数
カイガ3	22.0	PHWR	2002.3	2007.5.6	複数
カイガ4	22.0	PHWR	2002.5	2011.1.20	複数
カクラバール1	22.0	PHWR	1984.12	1993.5.6	複数
カクラバール2	22.0	PHWR	1985.4	1995.9.1	複数

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

建設中の原子力発電所

■ 建設中9基・計670万kW

→2024年までに31基・1,348万kWに

プロジェクト	地点名/州名	炉型	設備容量(万kW)	完成予定年
KAPP-3, 4 (カクラパール)	カクラパール/ グジャラート州	PHWR	2×70	2019～20

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

計画中のサイト（国産炉＋海外の大型軽水炉導入）



会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

承認・財政措置済のプロジェクト

- 政府は2017年6月、下記の12基・計900万kWに行政上・財政上の承認を付与
- 2031年までに完成予定
 - PFBRを含め、2031年までに43基・2,248万kWに
- ★最近の国会答弁資料によると、2031年までに43基・2,248万kWに

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

将来の建設に向けた“原則”承認済のサイト

- 政府は国産技術と海外との技術協力をベースに原子力発電拡大に向け努力
 - ー2010年の原子力損害賠償法（CLND）に関する諸問題解決
 - ーインド原子力保険プール（INIP）の創設
 - ー10基の国産PHWR(各70万kW)の建設に向けた行政上の承認と財政措置
 - ー公的部門企業の合併事業による原子力発電事業の設立を可能にする原子力法改正
 - ー燃料供給を含む原子力協力に向けた海外との協定締結

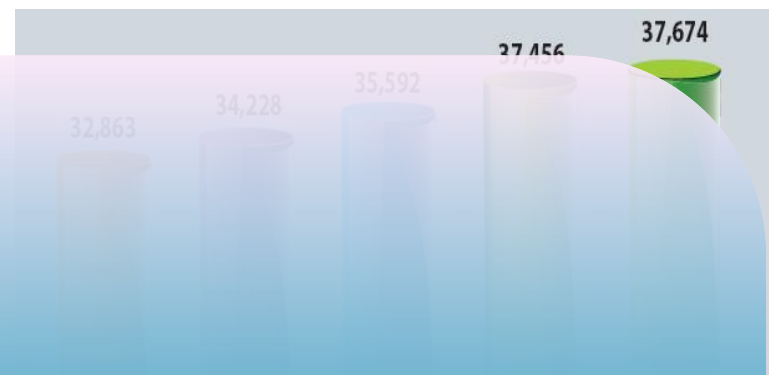
会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの原子力発電所運転状況

- 原子力発電量の増加
- 設備利用率の改善
- 長期継続運転

世界第3位
(2018年8月16日)



会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

最近の動き（１）— 1 基営業運転開始、 2 基着工

- 2017年3月、クダンクラム2号機(露製、100.0万kW)、営業運転開始
- 6月、同3、4号機(露製、100.0万kW×2基)、着工
- 6月、露一印、同5、6号機(露製)建設枠組協定に署名

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

最近の動き（２）—新規サイトで建設準備進む

- 2018年3月24日、ゴラクプール1，2号機建設に向けた地盤掘削工事開始（国産加圧重水炉PHWR、70.0万kW×2基）



会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

最近の動き（３）—その他

■ 2018年3月1日、 Bangladesh のルプル原子力発電所建設で露と3カ国協力協定締結

■ 2018年3月10日、仏EDFとジャイタプル原子力発電所建設計画で産業枠組協定締結

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

日印原子力協定締結

■ 2016年11月、日印原子力協定調印（発効日：2017年7月20日）

— 原子力平和利用を前提に、日本からインドへの原子力関連資機材や技術の輸出が可能に

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

最近の二国間原子力協定の締結状況

国名	署名年月日	発効年月日
フランス	2008年9月30日	2010年1月14日
米国	2008年10月10日	2008年12月6日
ロシア	2010年3月12日	※
ナミビア	2009年	※
インド	2009年9月14日	※

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの主な原子力関係条約・協定の加盟状況（１）

条約・協定名	条約発効年月日	加盟状況	加盟発効年月日
核兵器不拡散条約（NPT）	1970年3月5日	×	—
包括的核実験禁止条約（CTBT）	×	×	—
核兵器用核分裂性物質生産禁止条約 （カットオフ条約）	×	×	—
原子力の安全に関する条約	1996年10月24日	○	2005年6月29日

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドの主な原子力関係条約・協定の加盟状況（２）

協定名など	締結状況	締結発効年月日
IAEA保障措置協定	○	2009年5月11日
IAEA追加議定書	○	2014年7月25日
IAEA（国際原子力機関）	○	1957年7月29日

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドのIAEA保障措置対象施設（１）

	対象施設（計26）	通知日
1	ウラン酸化物プラント@核燃料コンプレックス ハイデラバード	2009年10月16日
2	セラミック燃料加工プラント（ペレット成型）@核燃料コンプレックス	2009年10月16日
3	セラミック燃料加工プラント（燃料集合体）@核燃料コンプレックス	2009年10月16日
4	濃縮ウラン酸化物プラント@核燃料コンプレックス	2009年10月16日
5	濃縮燃料加工工場@核燃料コンプレックス	2009年10月16日

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

インドのIAEA保障措置対象施設（２）

	対象施設（計26）	通知日
17	カクラパール1	2010年12月3日
18	カクラパール2	2010年12月3日
19	AFR燃料貯蔵施設@タラプール	2012年12月11日
20	核物質貯蔵庫@タラプール	2014年3月11日
21	ナローラ1	2014年12月12日

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

【参考】インドの原子力損害賠償法関連

- 1962年原子力法には、原子力損害賠償条項なし

原子力損害賠償民事責任法(Civil Liability for Nuclear Damage Act 2010、CLND)

- 2010年8月：インド議会（上院・下院）で成立
 - ・ ボパール事故の影響を受ける（米化学企業による有毒ガス放出事故、死者約1.5万人/被害約10万人）
- 運転者に賠償責任: 6条2項
 - 運転者の責任限度額: 150億ルピー（約2.3億ドル・297億円）

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

【参考】今後の発電設備容量の見通し

■ 総発電設備容量（2017年3月31日時点）

電源別	設備容量 (万kW)	%
水力	4,448	14
石炭＋褐炭	19,216	59
天然ガス	2,617	8
原子力	5,729	17

電源別	設備容量 (万kW)	%
太陽光	1,229	
風力	3,228	17
その他の再エネ	1,267	
再生可能エネルギー	5,724	

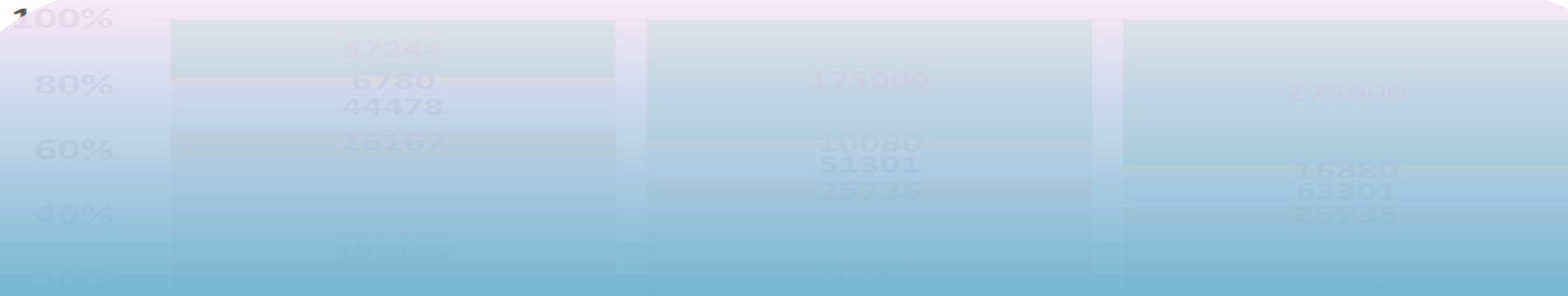
会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

【参考】発電設備容量と発電量の見通し

■ 発電設備容量の見通し

単位：MW (1,000kW)



会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>

【参考】2017～27年の間で運転開始が見込まれる原子力発電所

■ 2017～22年に運転開始予定の原子力発電所

	発電所名	州名	実施機関	基数と出力	2017～22年の運転開始規模
1	カクラパール3,4	グジャラート	NPCIL	2基×70万kW	140万kW
2	ラジャスタン7,8	ラジャスタン	NPCIL	2基×70万kW	140万kW
3	PFBR	タミルナドゥ	Bhavini	1基×50万kW	50万kW

会員限定に公開しております。

<https://www.jaif.or.jp/members/india2018>