



第48回原産年次大会

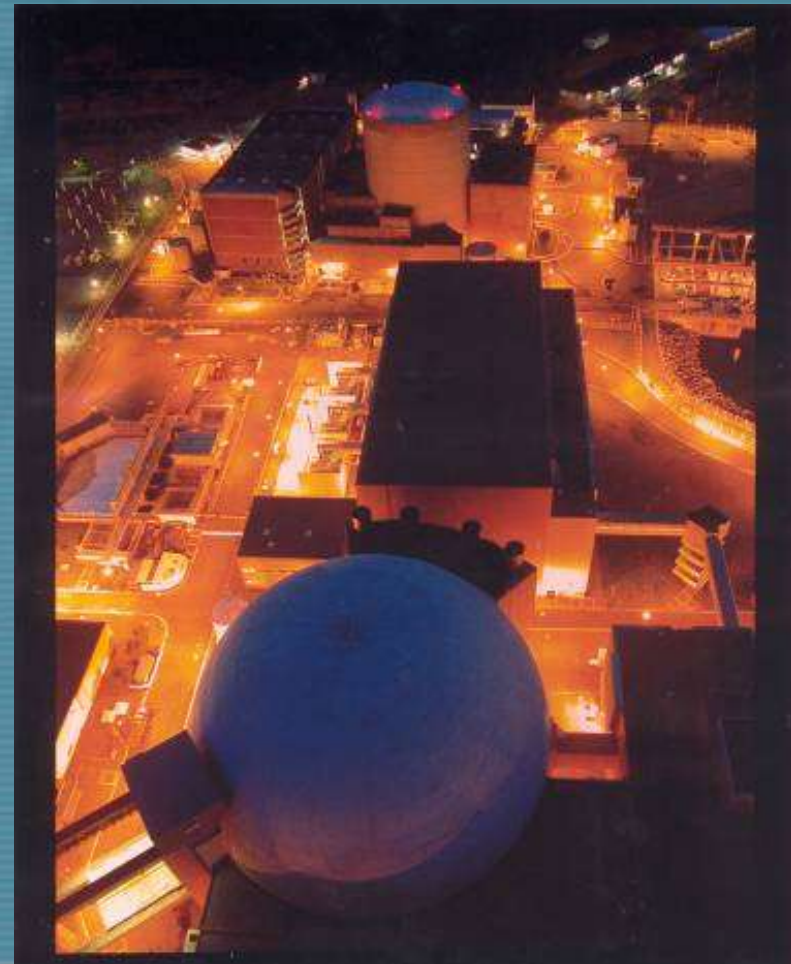
2015年4月13日～14日
東京

「なぜ原子力か」



水力・火力補完システムへの移行:

ブラジルでなぜ原子力か



多くの人々のブラジルのイメージ

アマゾンの森林



サッカー



カーニバル



コーヒー



もちろん それらも素晴らしいですが、

ぜひ知ってもらいたいのは
もうひとつのブラジルです。



イノベーション、技術、競争力、生産性

そしてブラジルの原子力産業

採掘・精錬

転換

濃縮

二酸化ウラン
(UO₂)粉末

ペレット

燃料要素

発電



以下の要素を合わせたシナジー効果

- 豊富なウラン埋蔵量
- 燃料サイクル技術
- 加圧水型原子炉(PWR)の技術
- 核不拡散



ブラジル 概要データ

全国送電系統 (SIN)



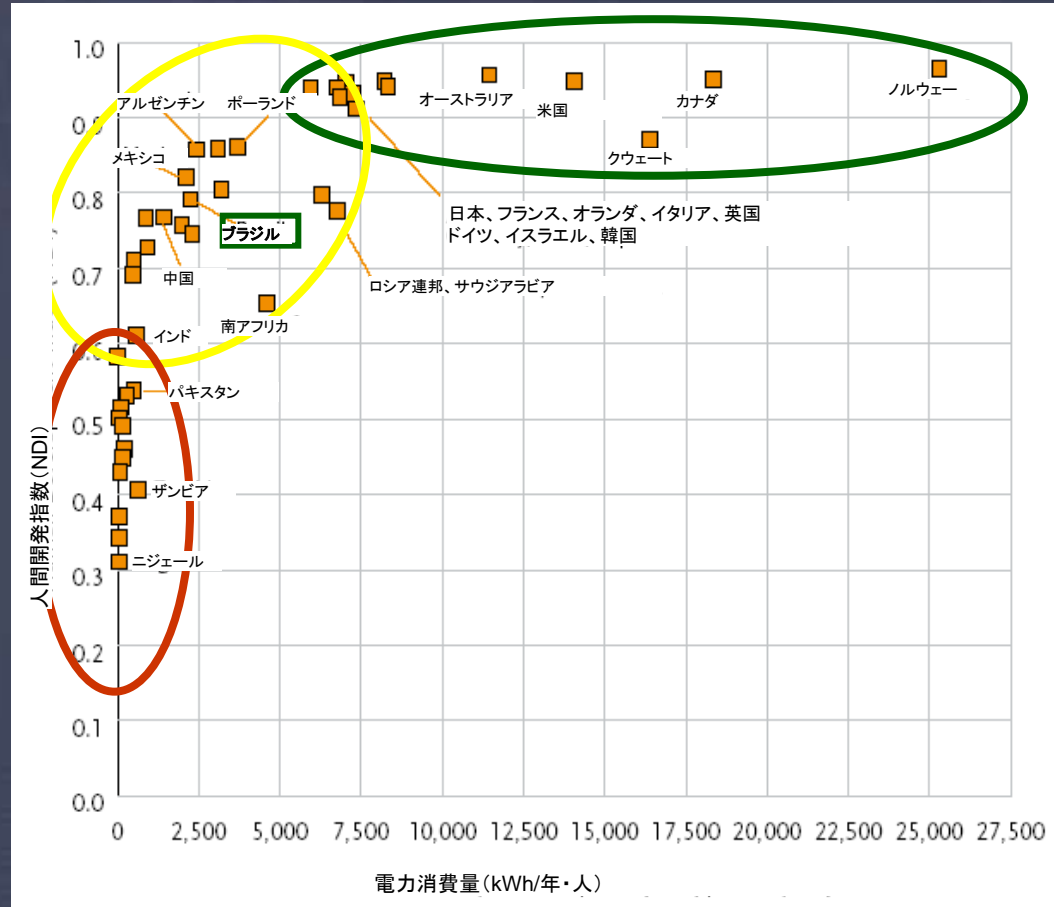
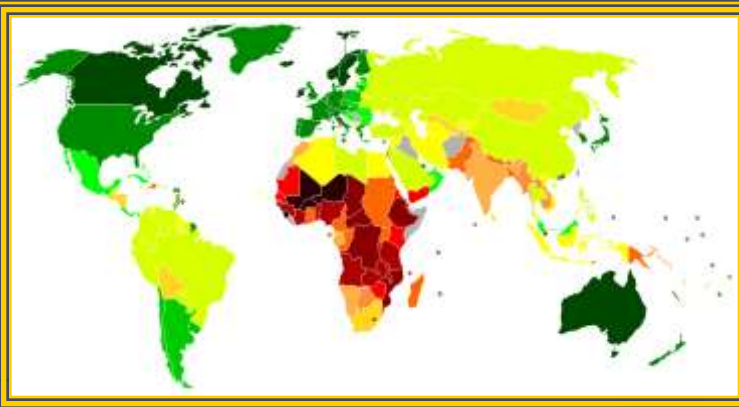
人口	1億9,200万人	5位
面積	850万 km ²	5位
GDP	1兆9,800億 米ドル	8位
一人当たりの 国内総生産 (GDP)	10,300米ドル	77位
人間開発指数 (HDI)	0.807	70位
発電設備容量	1億260万kW	9位
年間の発電量	4,500億kWh	10位
一人当たりの 電力消費量	2,400 kWh/人	90位

人間開発指数(HDI)と電力消費量

ブラジル: 世界90位

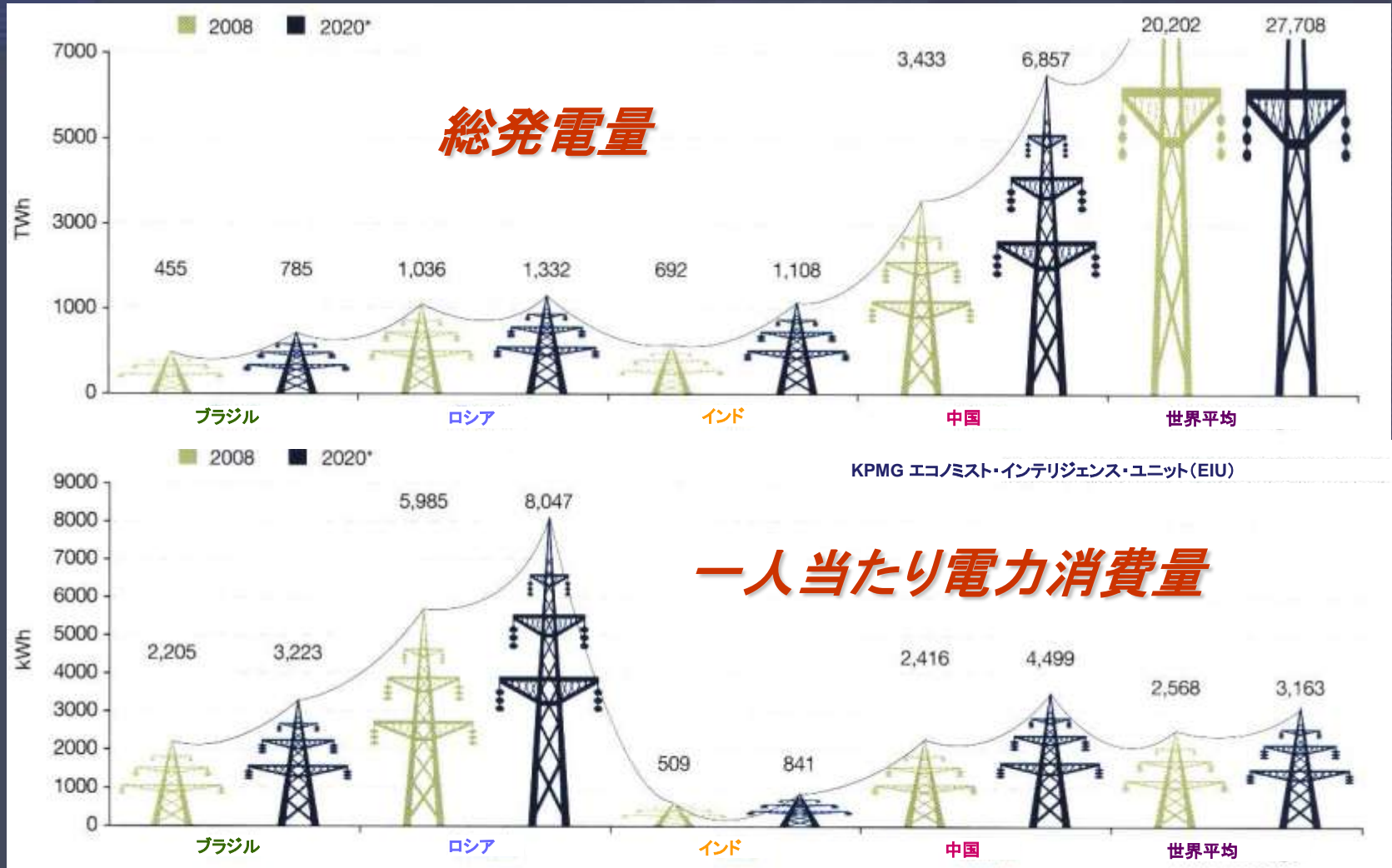


ブラジル: 世界69位



出所: Lighting the way、インターアカデミーカウンシル、2007

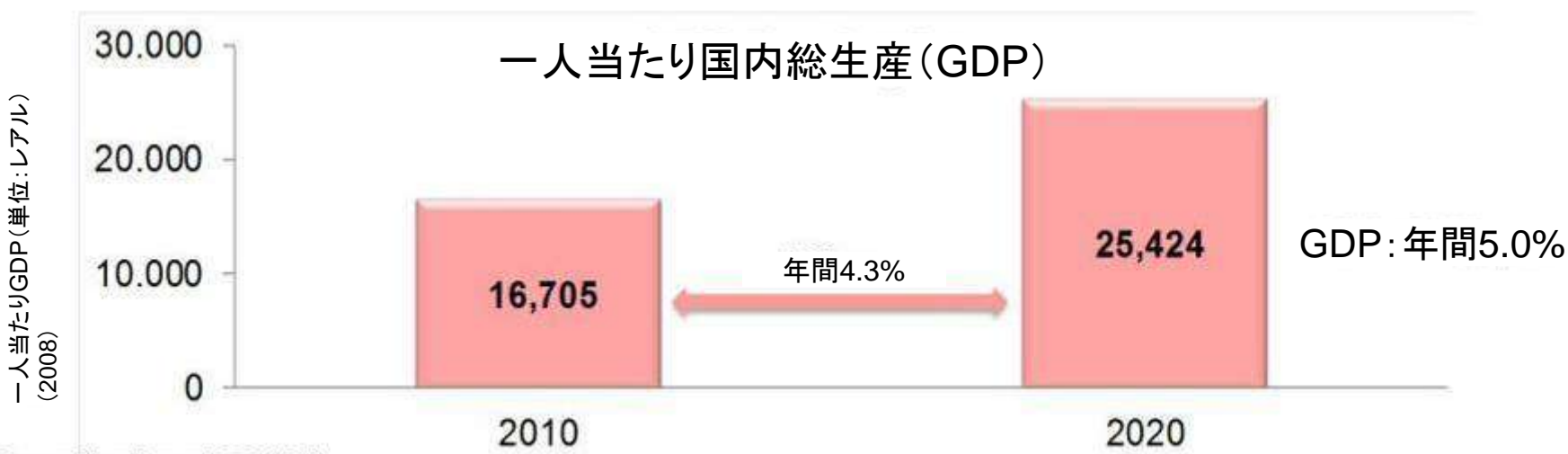
人間開発指数(HDI)と電力消費量





2020年の予測

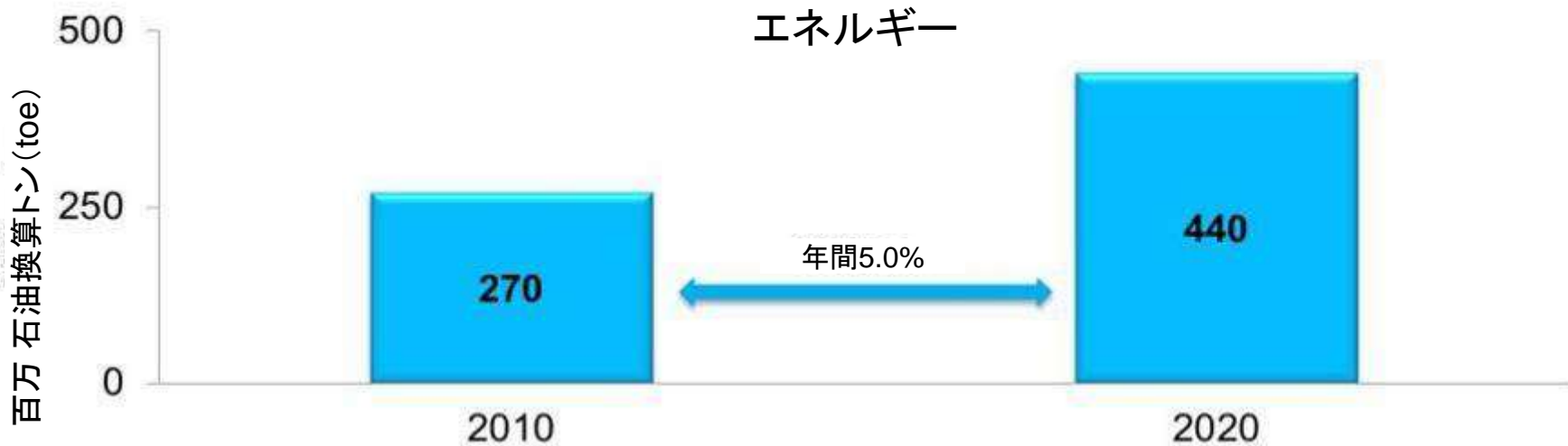
人口と一人当たりの国内総生産(GDP)



出所: 国家エネルギー拡大10年計画 2020、ブラジル地理統計院 (IBGE)



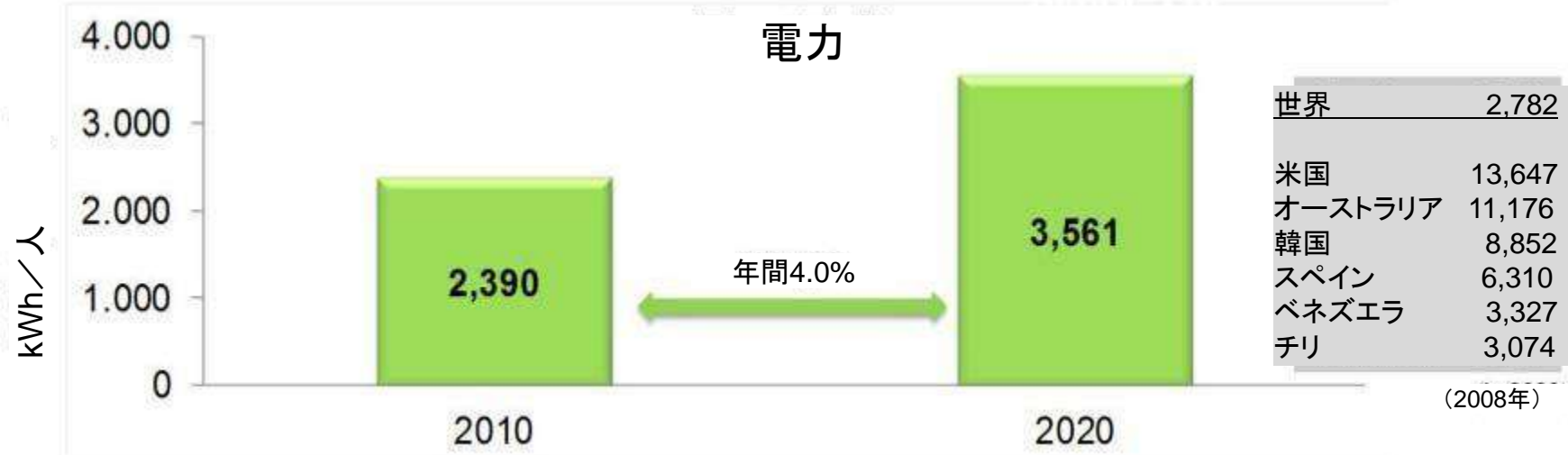
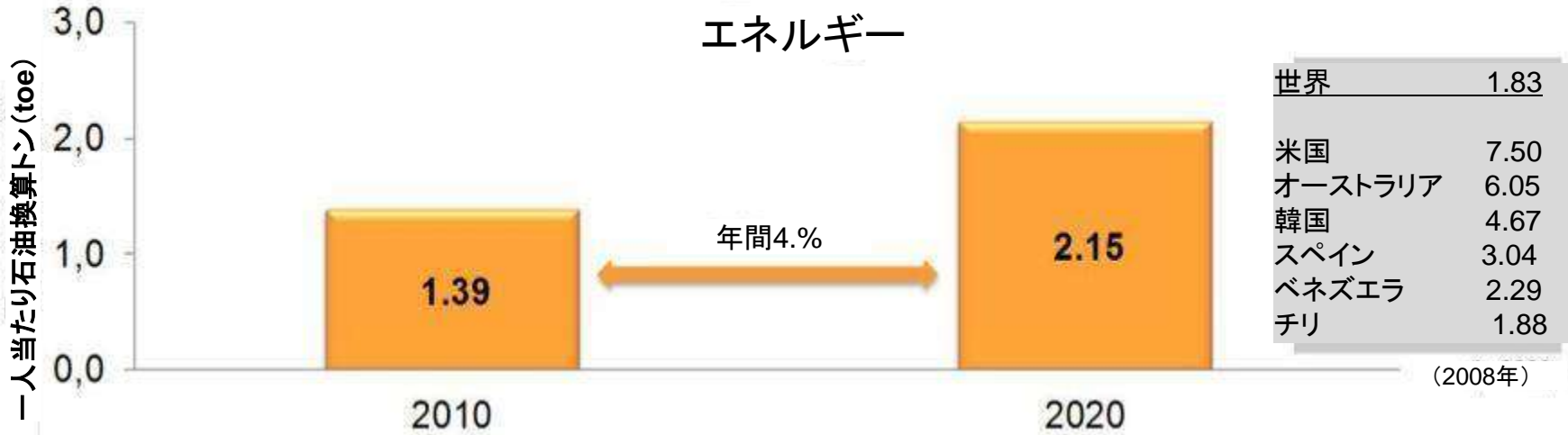
2020年の予測 エネルギーと電力消費量



出所: 国家エネルギー拡大10年計画 2020、
ブラジル地理統計院 (IBGE)

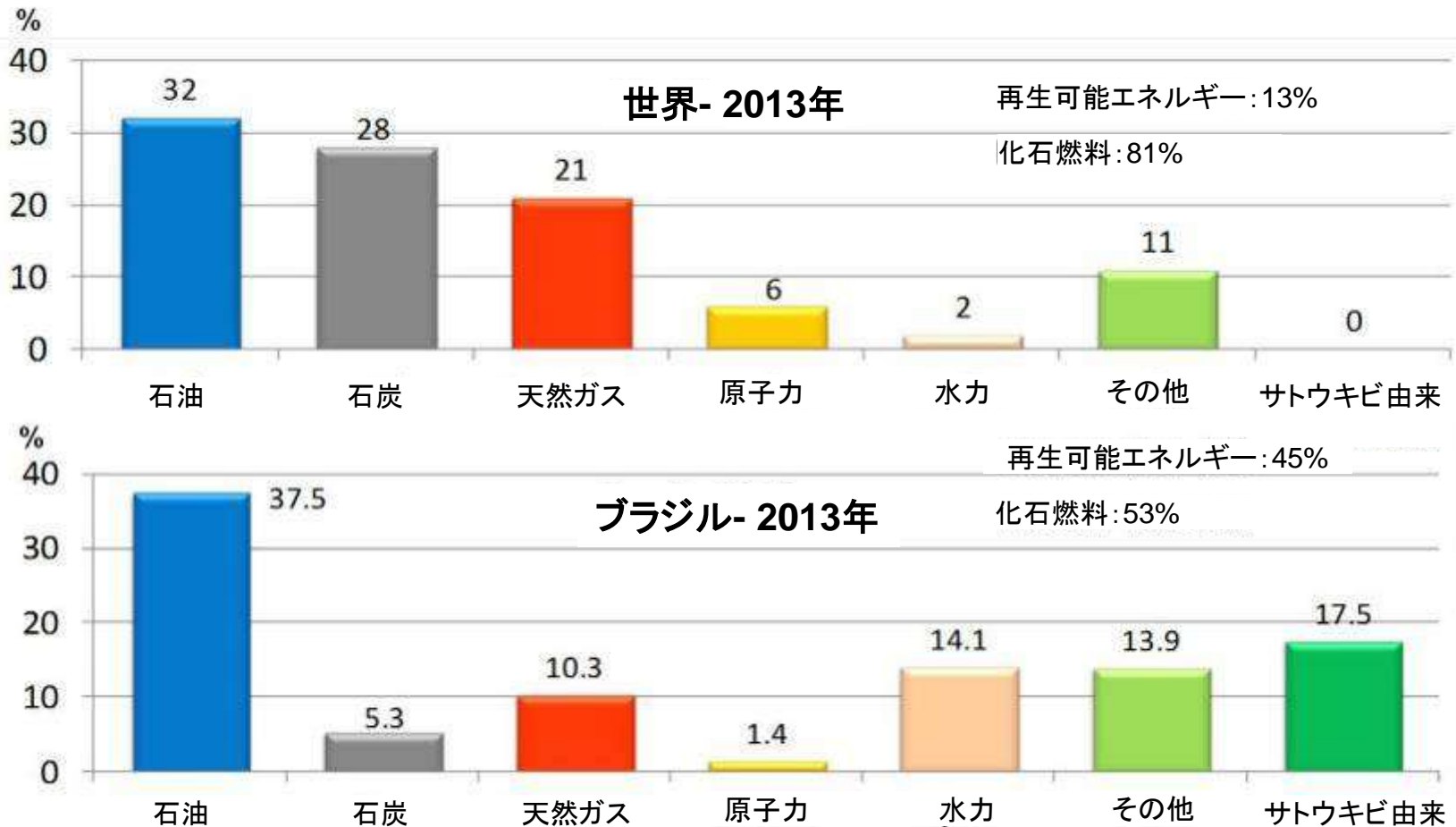


2020年の予測 エネルギーと電力消費量





エネルギー供給の割合 世界とブラジルの比較(%)

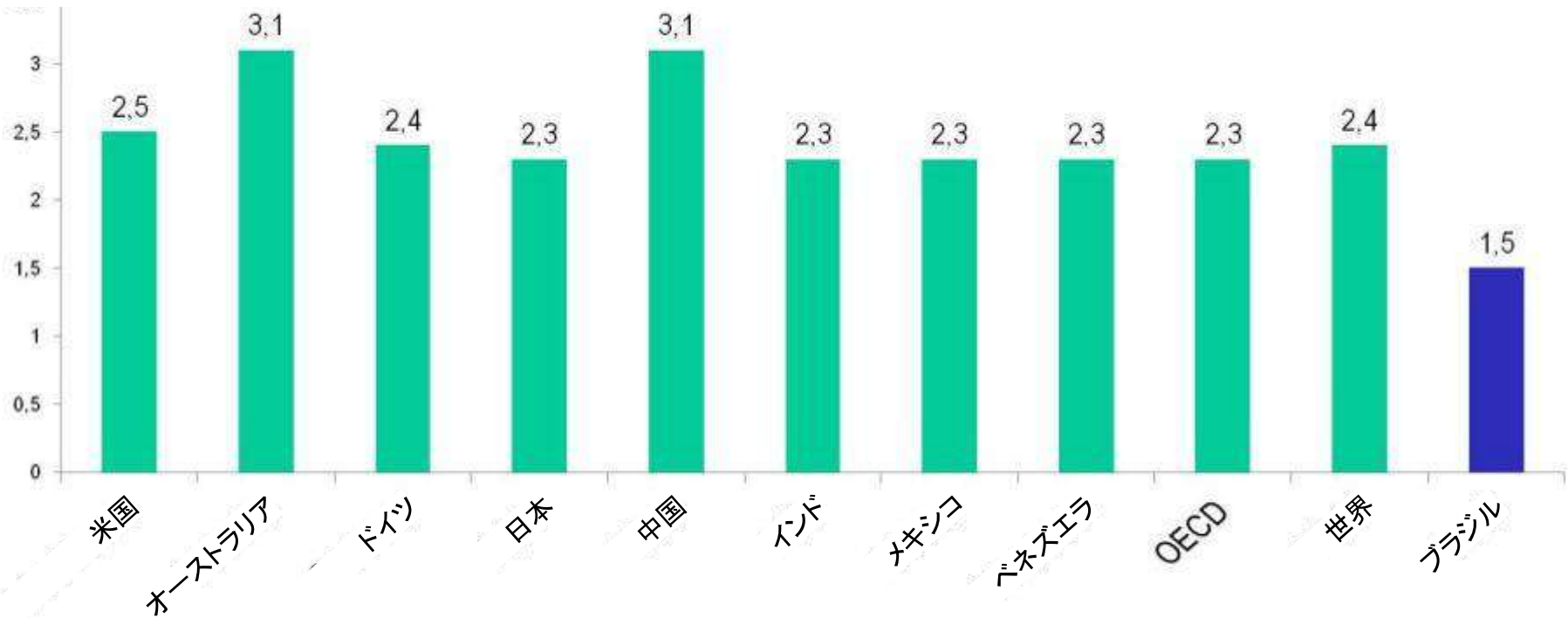


出所: 国際エネルギー機関 (IEA) およびブラジル鉱山エネルギー省 (MME) / BEN



エネルギー供給の割合 世界とブラジルの比較(%)

エネルギー部門の二酸化炭素排出量 ※ 他の国および地域との比較 (二酸化炭素トン/石油換算トン、tCO2/toe)

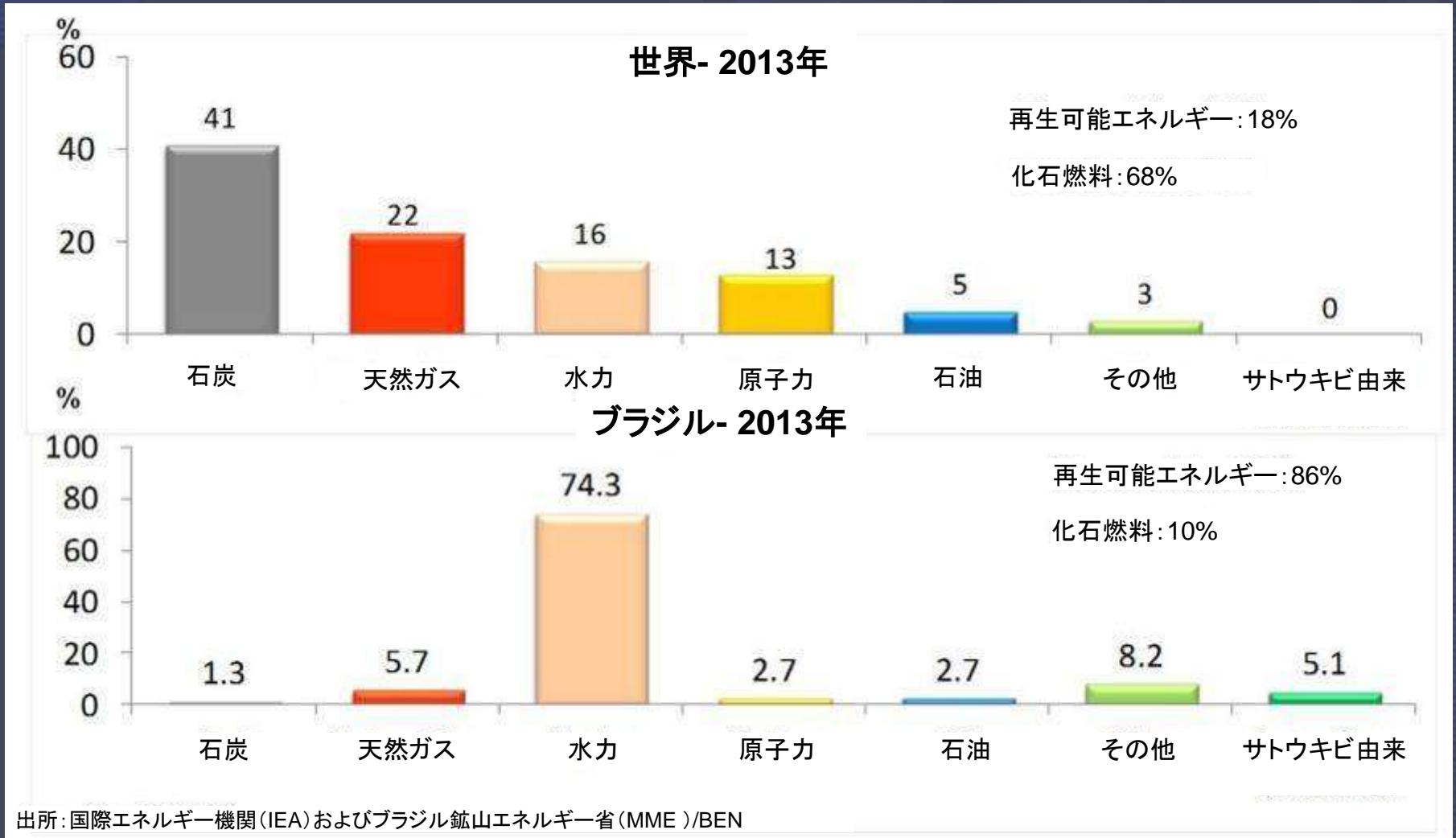


出所: 国際エネルギー機関(IEA)

※国内エネルギー供給量をもとに評価



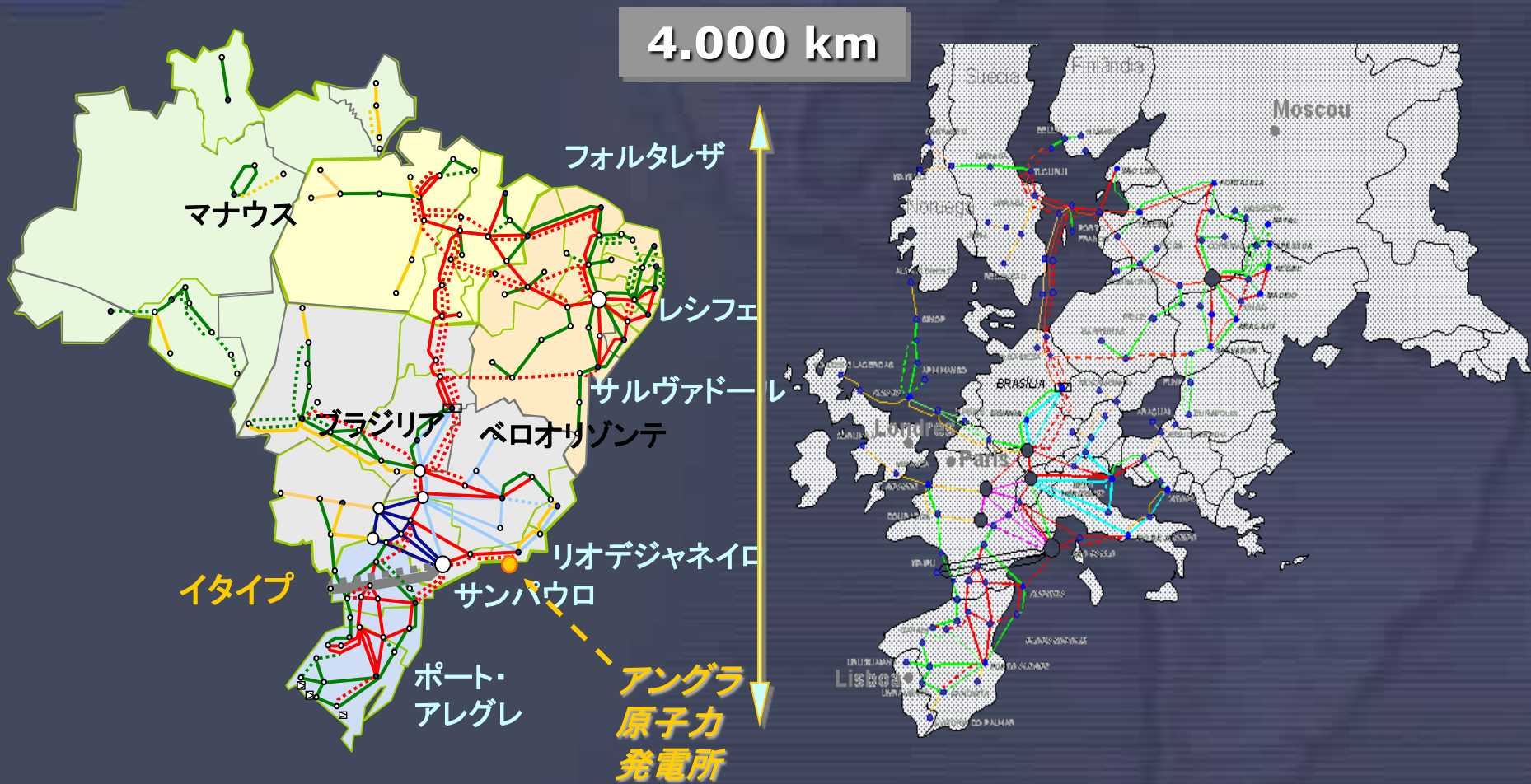
電力供給の割合 世界とブラジルの比較(%)





水力発電にはシステム統合が必要

ヨーロッパに匹敵する大陸面積をもつブラジル



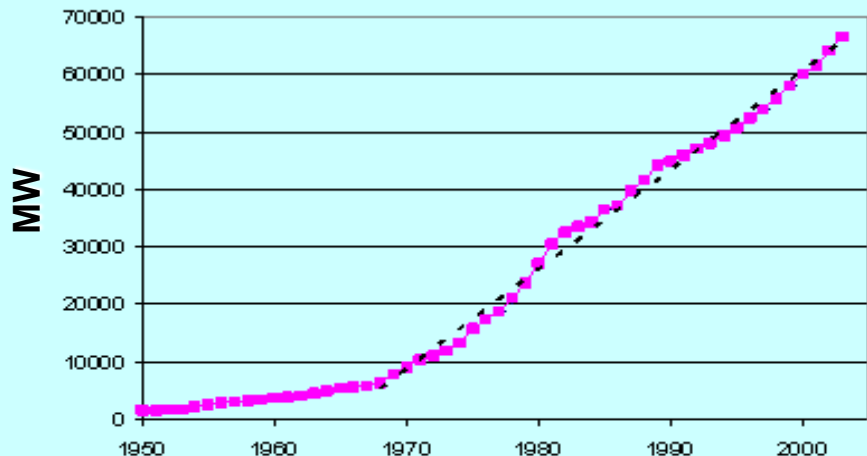


電力システムの進化(1990年代)

火力(含原子力)発電で補う必要性の高まり

注)以下このスライド集の「火力」はいずれも原子力を含む概念。

水力発電の設備容量



水力発電の設備容量は増加しているが...

...貯水量はそれに比例して増加していない

貯水容量

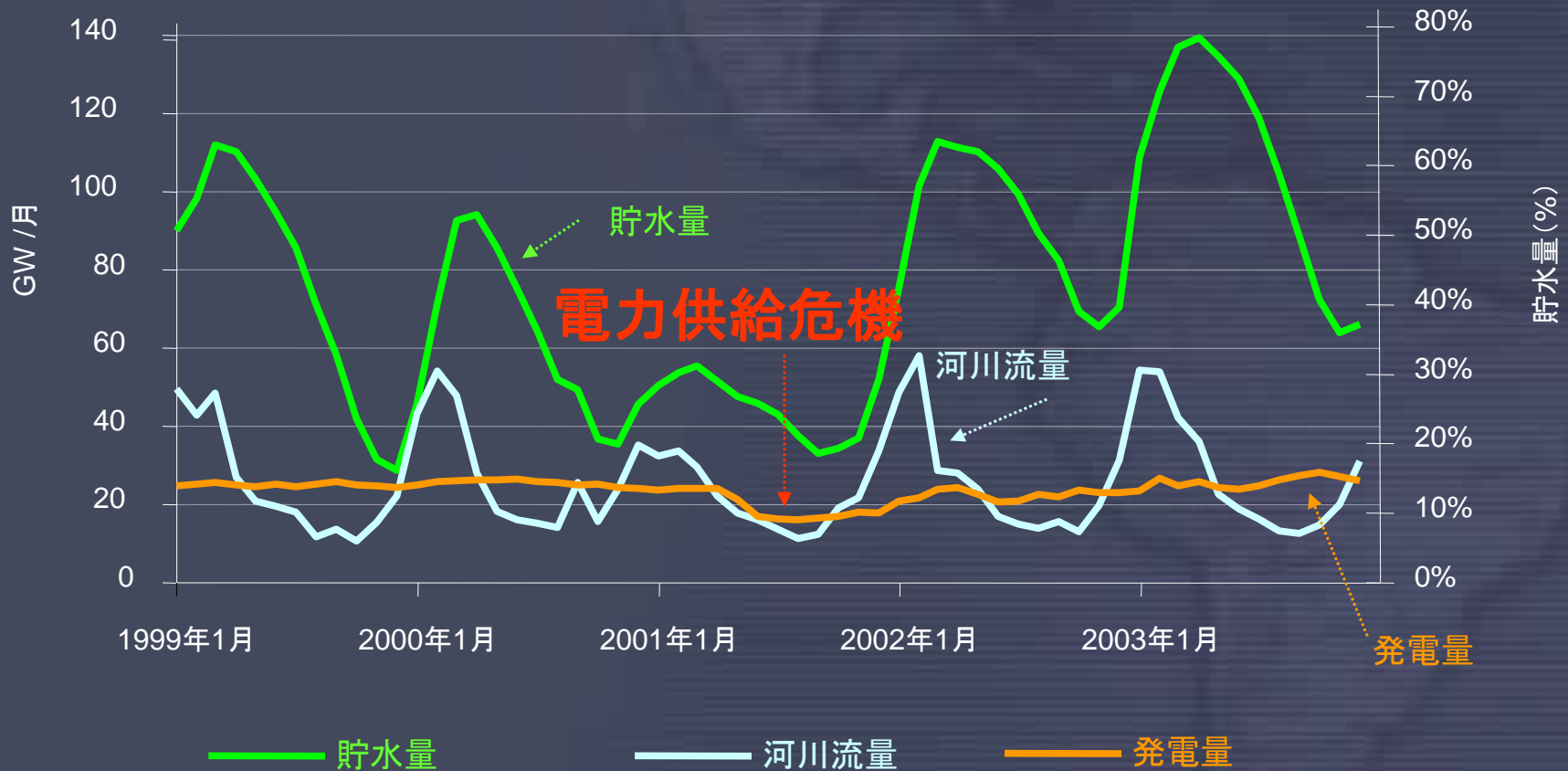




電力システムの進化

火力発電で補う必要性の高まり

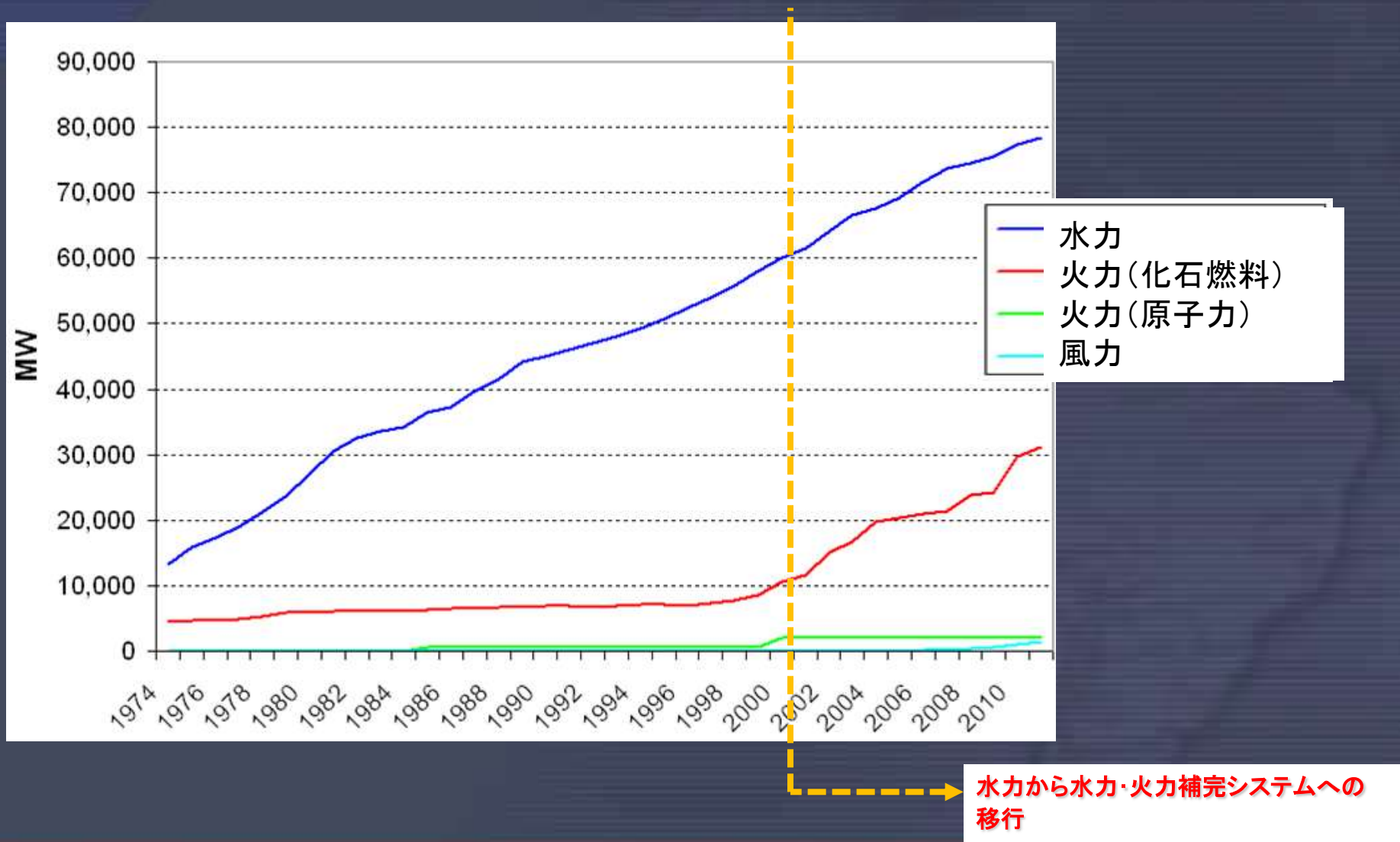
2001年電力供給危機の根本原因





電力システムの進化

水力・火力補完システムへの移行



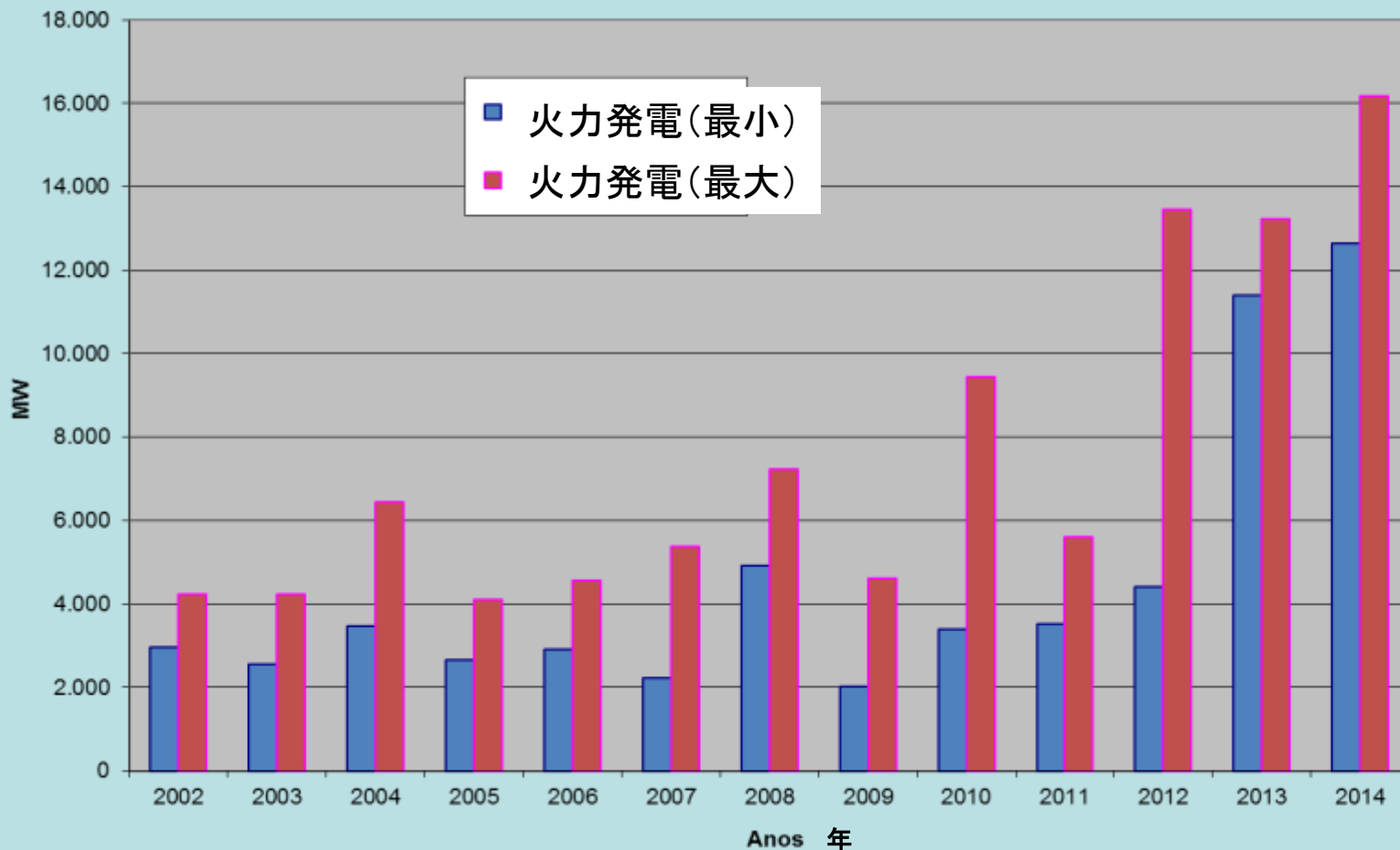
水力から水力・火力補完システムへの移行



電力システムの進化

水力・火力補完システムへの移行

火力発電による1か月当たりの最大・最小発電量





電力システムの進化

水力・火力補完システムへの移行

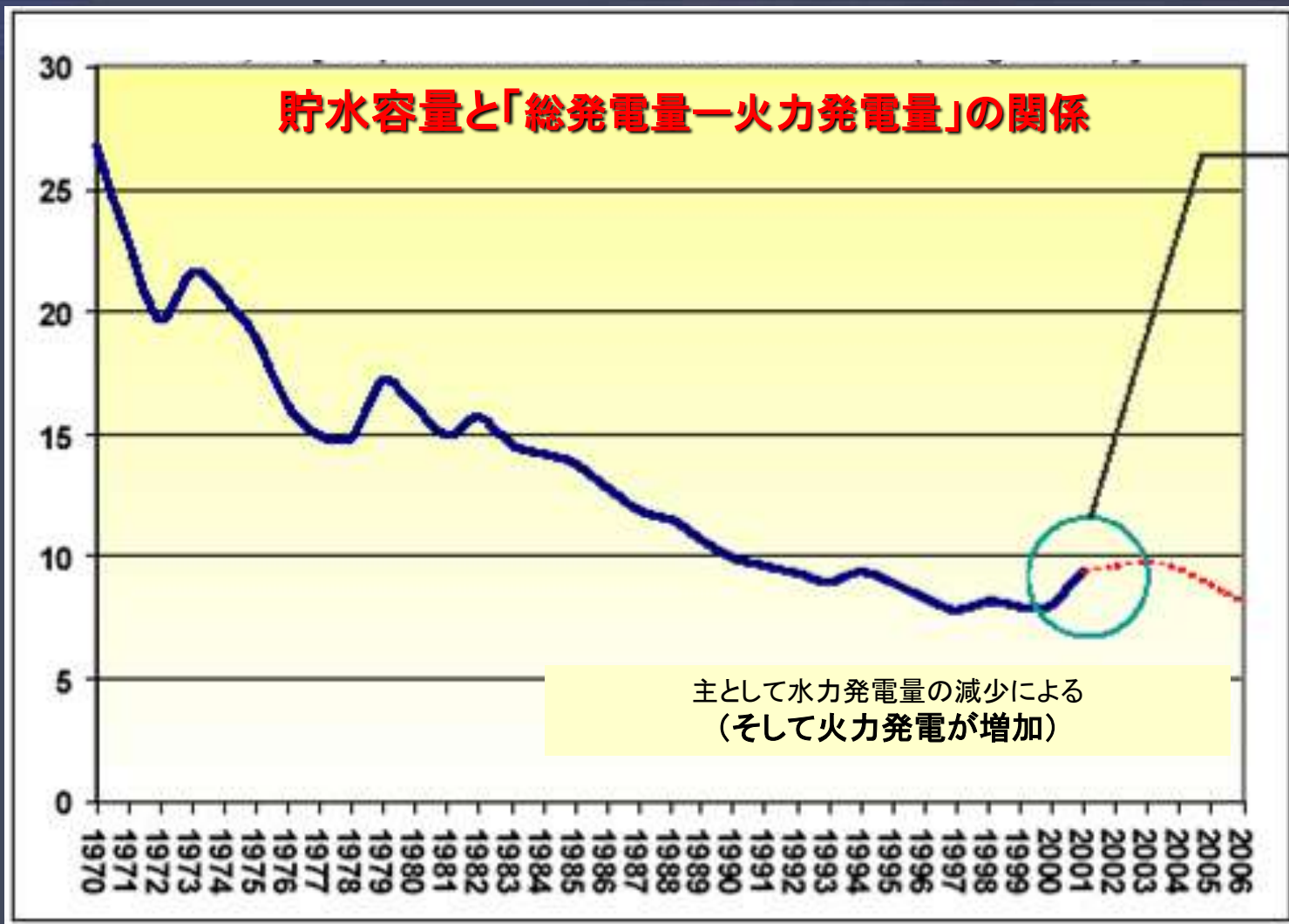
水力、再生可能エネルギーといった一次エネルギー資源が優勢であったが、大規模な技術連結された送電システムの拡張には、火力発電の貢献度を高めていく必要があった

- 経済面・環境面での水力発電が成立していた利点が段階的に失われていった、同時に／または
- 貯水池の貯水容量低下と送電システム負荷の増加とともに、水力システムは自動調節能力を喪失していった



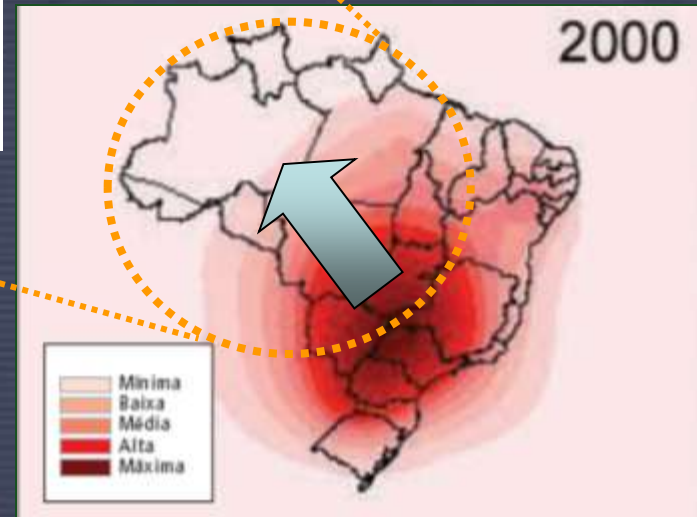
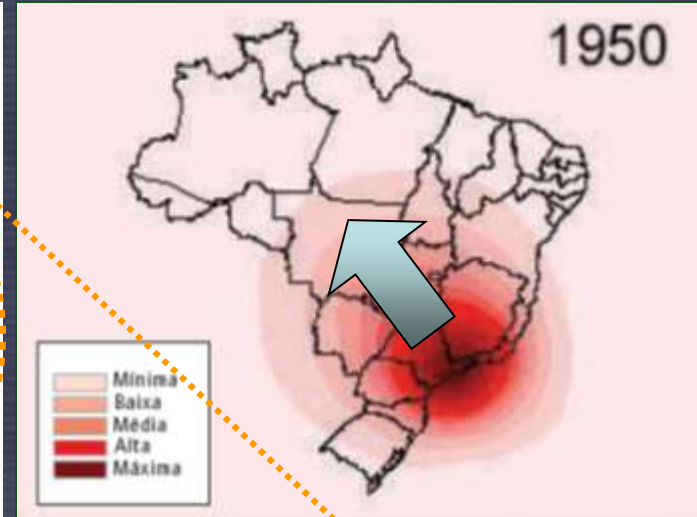
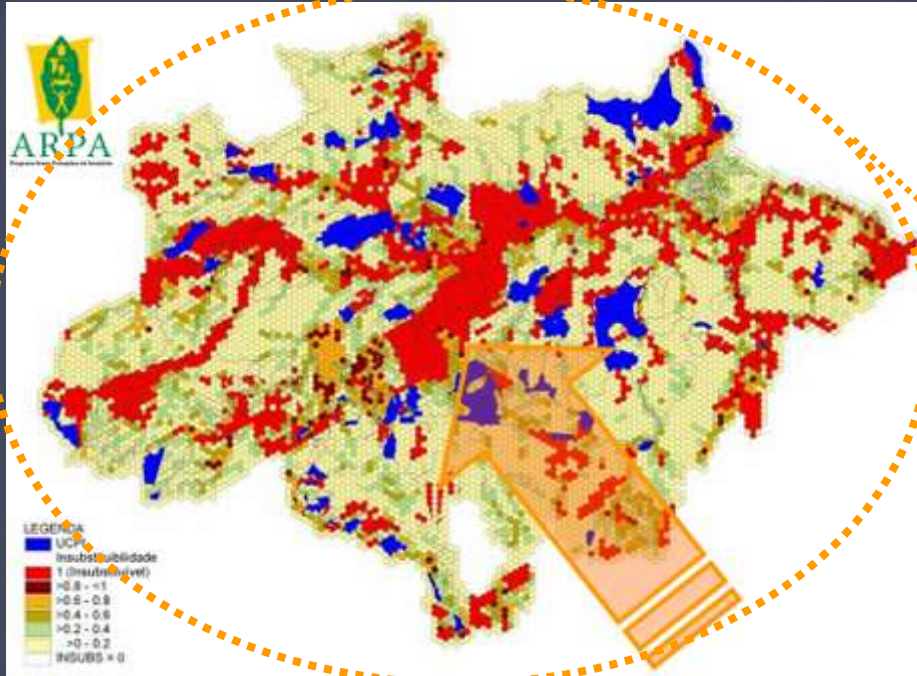
電力システムの進化

火力発電で調整する必要性の高まり



2001
電力供給危機

電力システムの進化 「ダム文化」の変化



広大な地表の洪水を
避けるために貯水池を
小さくした



電力システムの進化 「ダム文化」の変化

この傾向は
アマゾン川流域における
新規プロジェクトで
さらに強くなる

- 現在の平均水力発電能力: 55%
- アマゾンの将来的な水力発電能力: 20-25%



AHE マデイラ川 プロジェクト、650万kW



AHE ベロモンテ プロジェクト、1100万kW

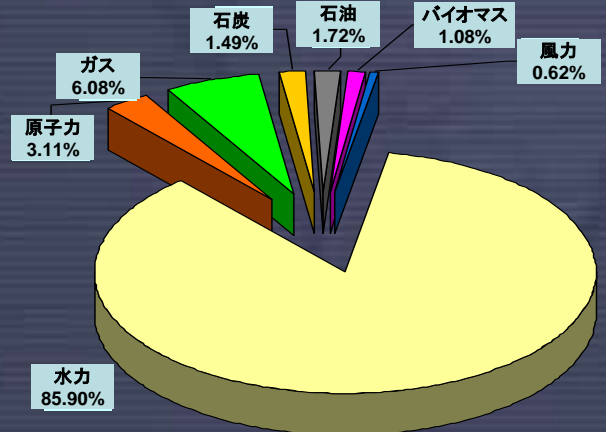
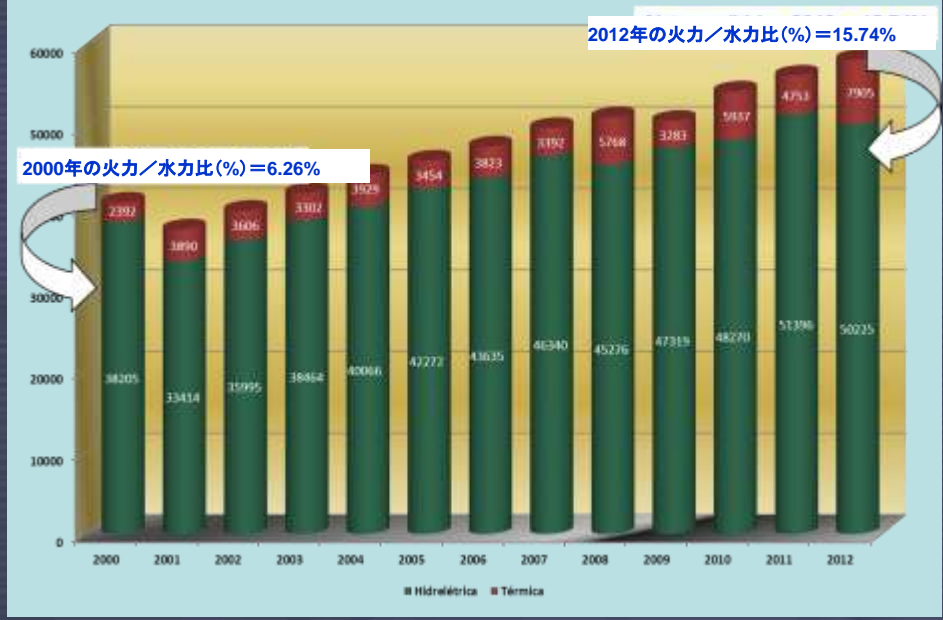


電力システムの進化(1990年代)

火力発電で補う必要性の高まり



原子力発電が増えれば解決するのに

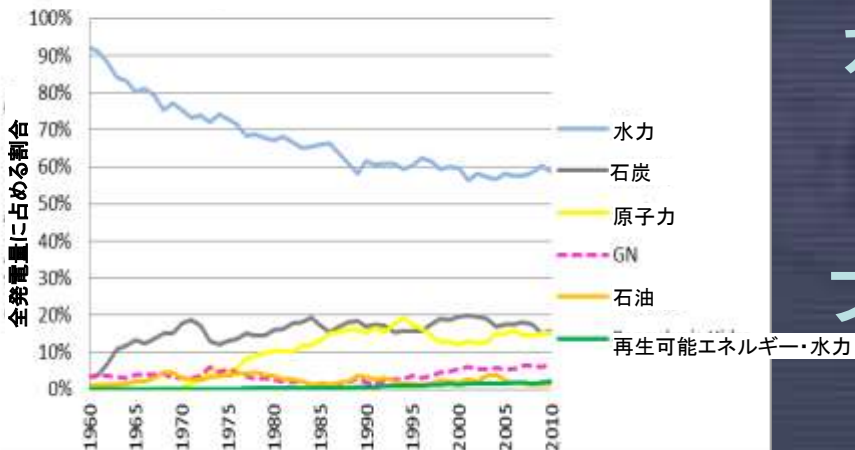




電力システムの進化

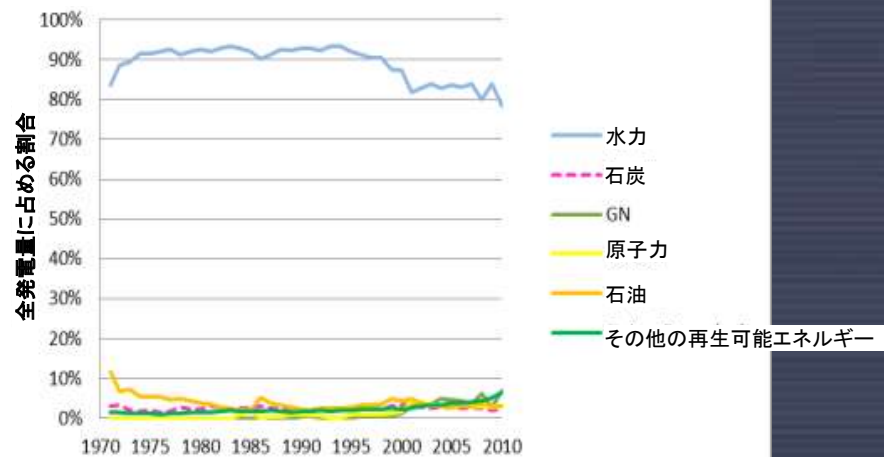
水力・火力補完システムへの移行、世界での前例

カナダの発電事情



カナダにおけるこの50年間の
電力システムの進化と、
ブラジルの最近15年間の電力
システムの状況には
多くの共通点がある

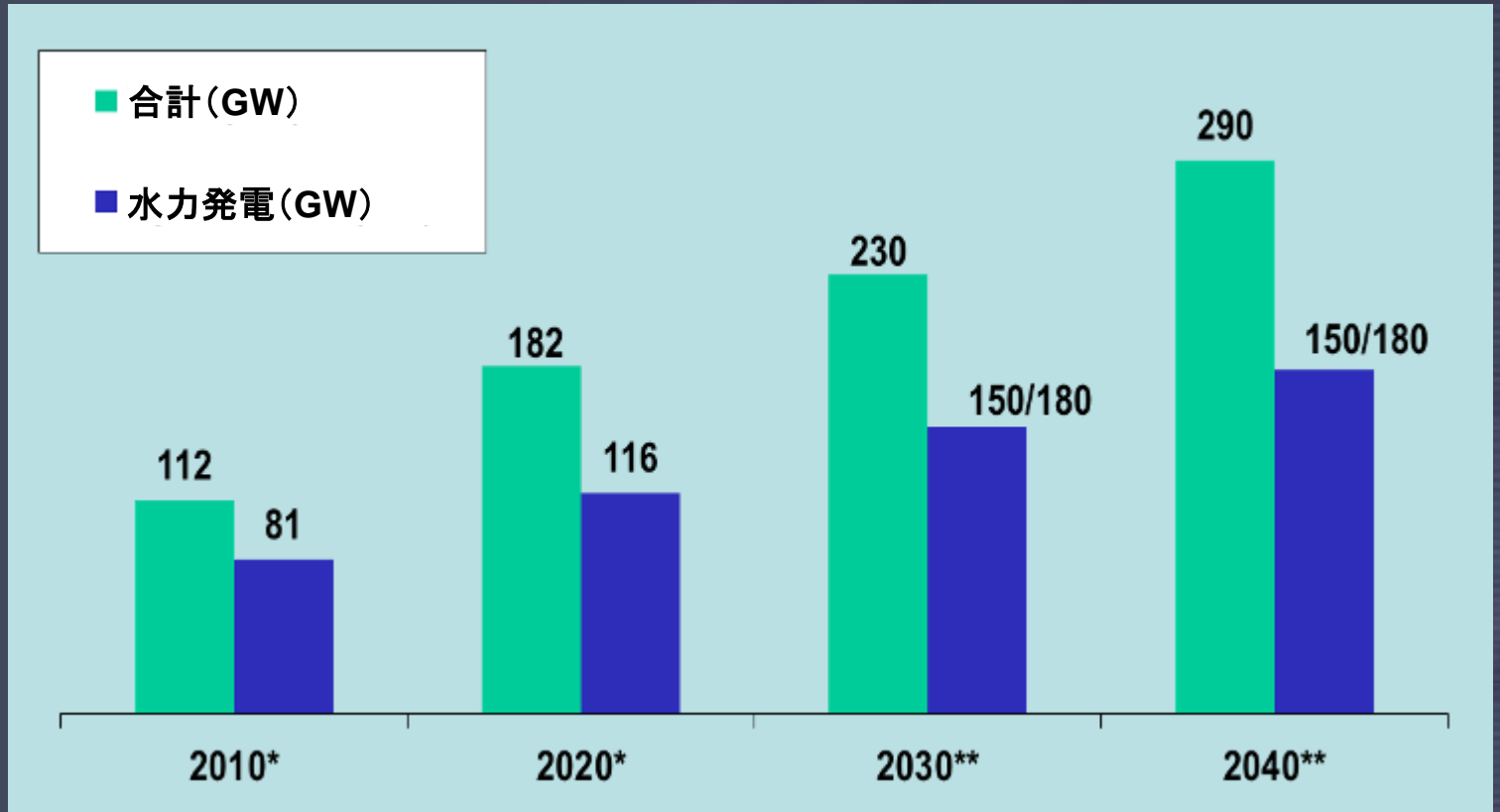
ブラジルの発電事情





電力システムの進化

ブラジルでは「水力」から「水力・火力補完システム」への移行が始まったばかり



水力の占める割合 72%

69%

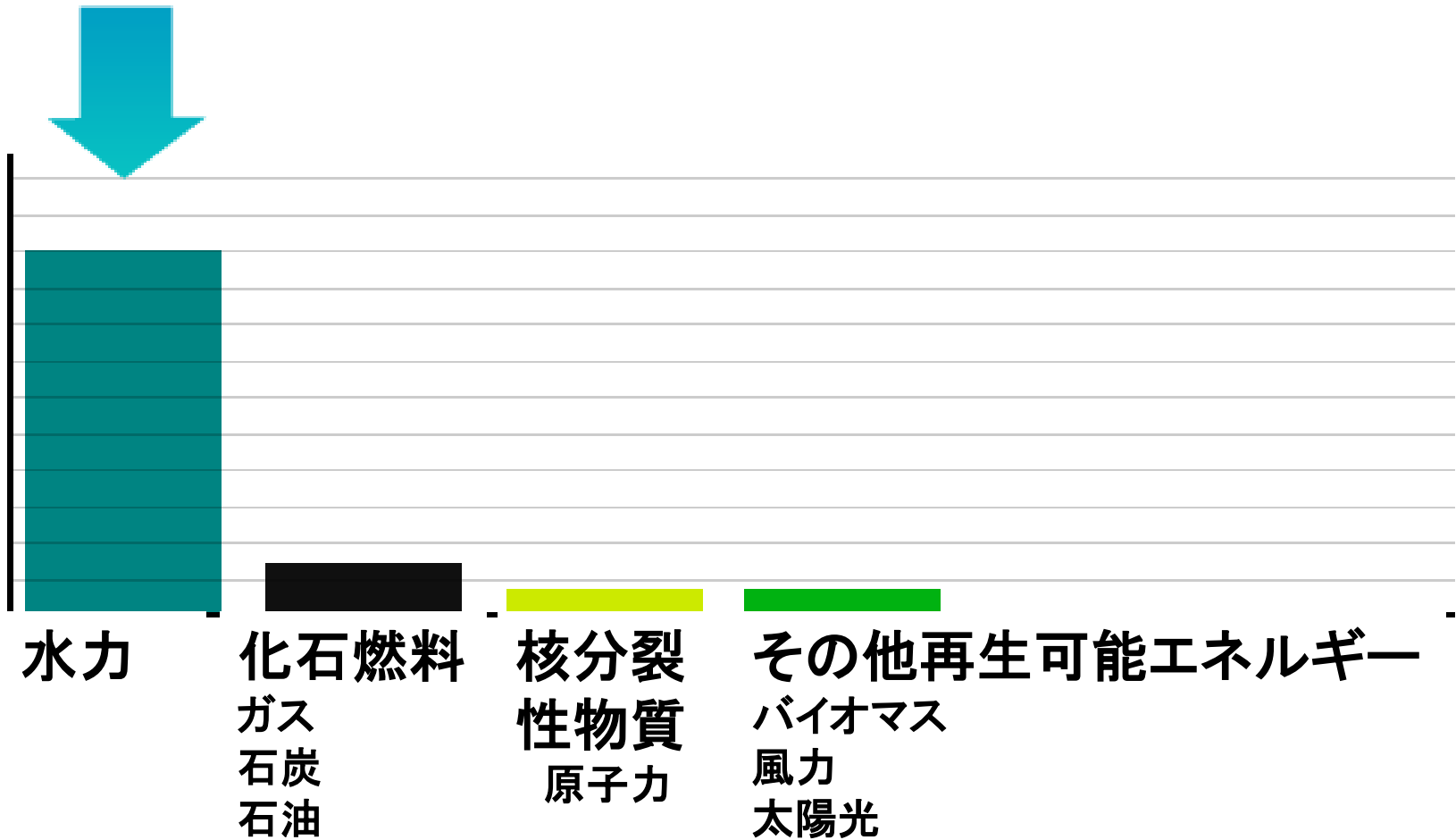
65/78%

52/62%



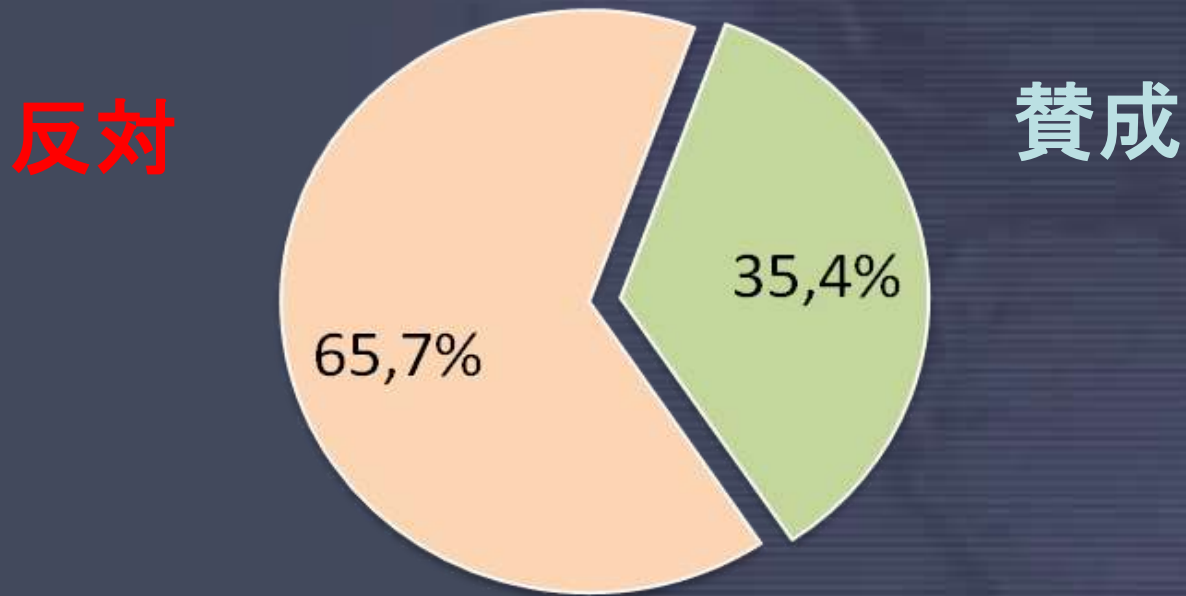
電力システムの進化

ブラジルでは「水力」から「水力・火力補完システム」への移行が始まったばかり





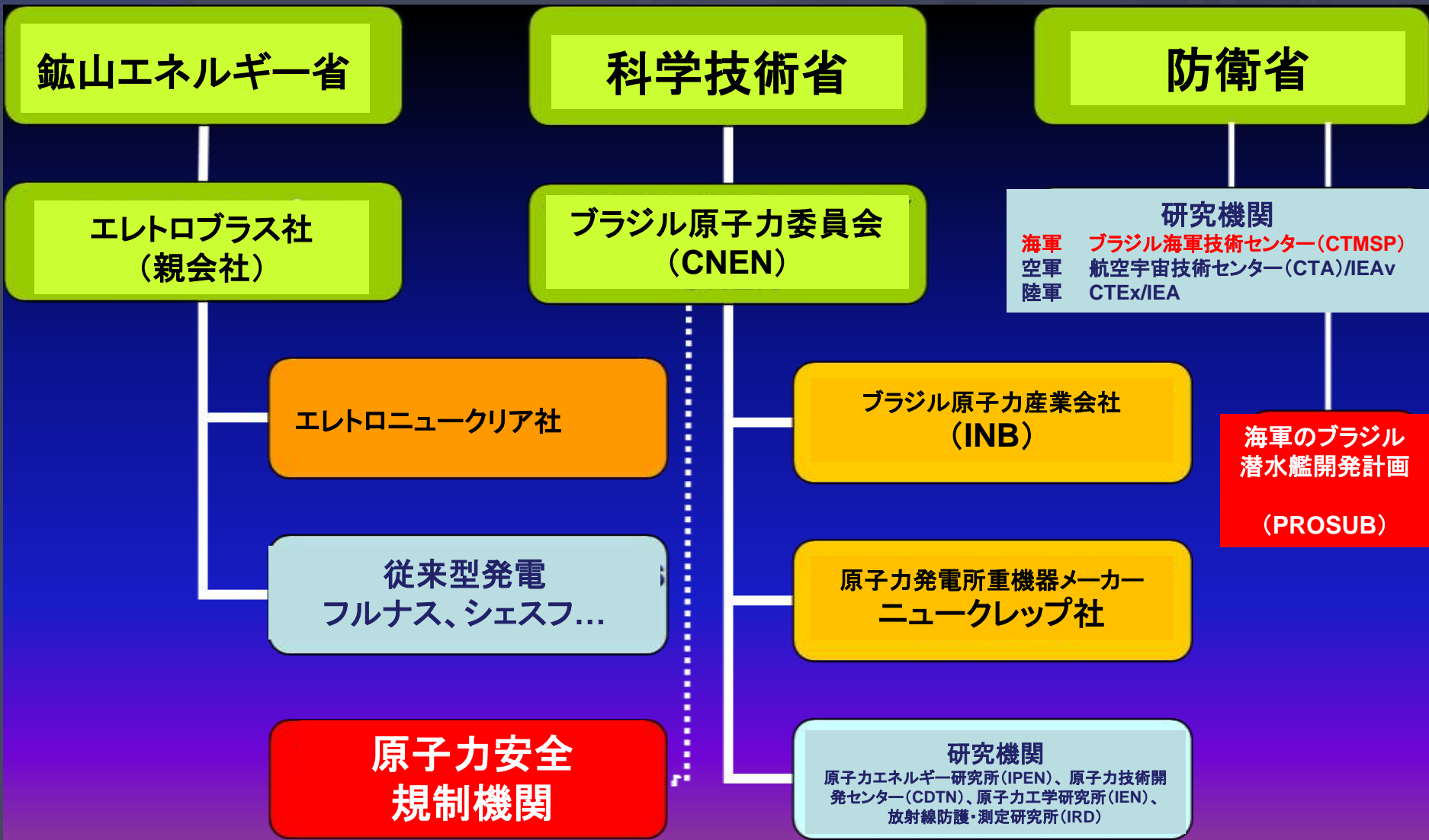
公衆の支持 ブラジルにおける原子力



	コスタヴェルデ	リオデジャネイロ	その他の州都
賛成	55,6%	46,3%	32,4%
反対	45,4%	53,7%	67,6%

ブラジルの原子力産業

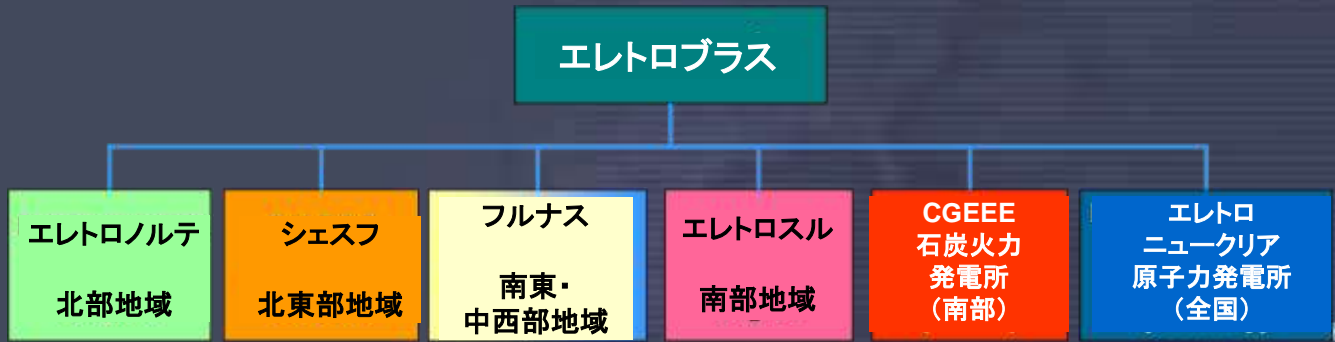
法令にもとづく独占体制





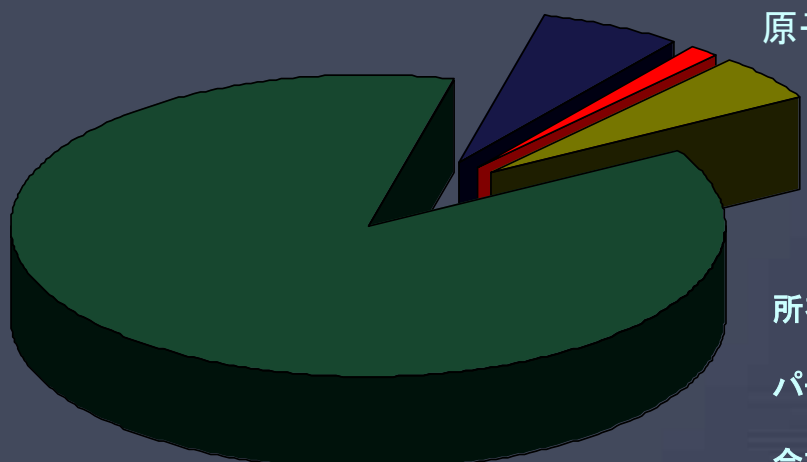
ブラジル電力公社(エトロブラス)

世界第10位の電力会社



- ✓ 運転発電量 3943万4000kW
- ✓ ブラジルの発電設備容量の37%
- ✓ 長さ 59,000 km の送電線
- ✓ ブラジル全体の送電量の56%

石油・ガス = 7%
石炭 = 1%
原子力 = 5%



所有	8,137	10,618	10,203	7,000	2,007	490	38,455
パートナーシップ	968	-	11	-	-	-	979
合計	9,105	10,618	10,214	7,000	2,007	490	39,434

ミッション

3段階のスケジュールによる取り組み



1. 今日: 運転と保守

- アンガラ1号機: 1985年 (ウェスチングハウス、加圧水型原子炉(PWR)、65万7000 kW)
- アンガラ2号機: 2001年 (シーメンス-KWU、PWR、135万 kW)



2. 明日: エンジニアリング、調達、建設 および試運転

- アンガラ3号機: 2015年 (アレバNP、PWR、140万5000 kW)

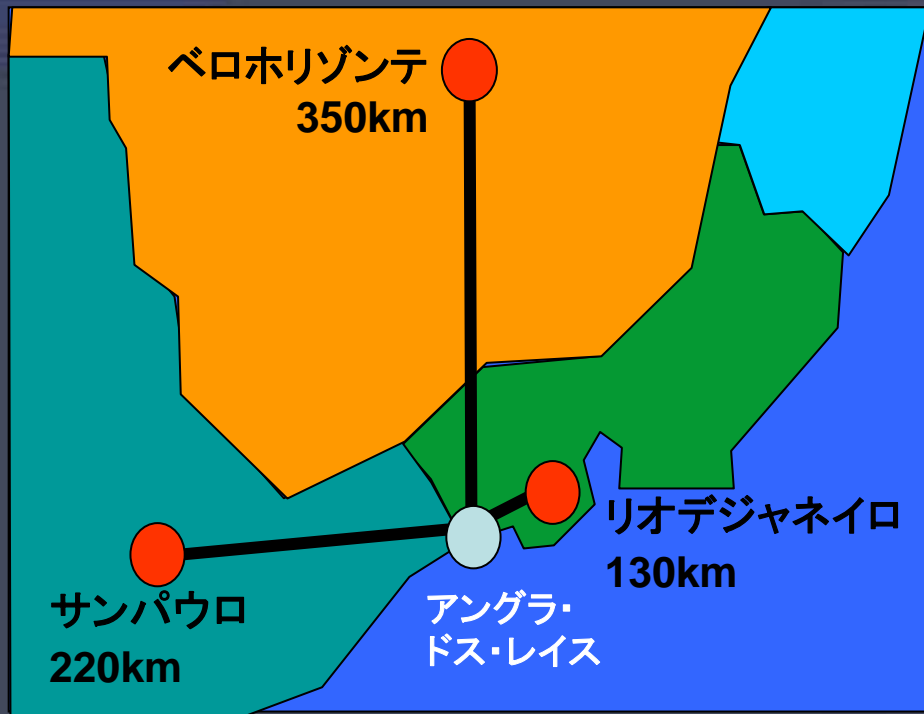


3. 将来: 研究開発

- 4~8基の新たな原子力発電プラント: 2015-2030年 (PWRの国内設計)



アルミランテ・アルバロ・アルベルト 原子力発電所



ブラジルの主要3都市近郊に
位置している





アルミランテ・アルバロ・アルベルト 原子力発電所

アングラ2号機 (PWR)

発電量: 135万kW

技術: シーメンス/KWU

運転開始: 2001年1月

アングラ1号機 (PWR)

発電量: 65万7000kW

技術: ウェスチングハウス

運転開始: 1985年1月





アングラ 原子力発電所 1号機、2号機の運転

2012年までの発電量: 1984億9093万2000kWh

2012年に記録された発電量: 161 億kWh※

※イタイプ水力発電所の記録: 940億kWh





アングラ 原子力発電所 1号機、2号機の運転

2010-2013年の
エネルギー利用率(EAF)
アングラ 1&2号機: 4位

2012年のEAF
アングラ 1&2号機: 2位

2011年のEAF
アングラ 1&2号機: 2位

2010年のEAF
アングラ 1&2号機: 15位

IAEA PRIS Power Reactor Information System

World Statistics | Country Statistics | Publications | Glossary | About PRIS

エネルギー利用率
2010年から2012年の間に商用運転されていた全ての原子炉を含む

Country	2010		2011		2012		2010 - 2012	
	Number of Reactors	EAF [%]	Number of Reactors	EAF [%]	Number of Reactors	EAF [%]	Number of Reactors	EAF [%]
ARGENTINA	2	81.9	2	72.0	2	71.7	2	78.2
ARMENIA	1	69.7	1	73.7	1	66.4	1	69.9
BELGIUM	7	87.5	7	88.7	7	74.1	7	83.4
BRAZIL	2	83.8	2	95.7	2	92.0	2	90.5
BULGARIA	2	84.3	2	90.0	2	88.5	2	87.6
CANADA	18	77.6	18	80.4	20	79.1	20	79.0
CHINA	13	88.8	14	87.7	15	89.2	15	88.6
CZECH REPUBLIC	6	81.6	6	81.7	6	88.0	6	83.1
FINLAND	4	91.9	4	92.8	4	91.0	4	91.9
FRANCE	59	76.4	58	79.3	58	76.0	59	77.2
GERMANY	17	76.7	17	82.0	9	90.5	17	81.9
HUNGARY	4	88.6	4	88.9	4	89.0	4	88.8
INDIA	19	87.6	20	78.2	20	77.3	20	70.6
JAPAN	54	66.9	54	41.8	50	9.8	54	40.0
KOREA, REPUBLIC OF	20	90.6	21	90.0	23	81.6	23	87.2
MEXICO	2	83.6	2	80.0	2	82.6	2	85.2
NETHERLANDS	1	88.9	1	92.1	1	86.9	1	89.3
PAKISTAN	2	69.7	3	70.3	3	84.3	3	75.9
ROMANIA	2	93.5	2	94.6	2	92.6	2	93.6
RUSSIA	32	81.4	32	80.3	32	80.6	32	80.8
SLOVAKIA	4	87.0	4	90.6	4	90.4	4	89.3
SLOVENIA	1	89.3	1	98.6	1	88.5	1	91.5
SOUTH AFRICA	2	82.9	2	81.3	2	77.4	2	80.5
SPAIN	8	90.1	8	83.2	8	88.7	8	87.4
SWEDEN	10	88.2	10	71.3	10	74.5	10	71.3
SWITZERLAND	5	88.6	5	89.5	5	84.8	5	87.6
UKRAINE	15	76.0	15	75.6	15	75.2	15	75.6
UNITED KINGDOM	19	83.4	19	71.2	18	77.1	19	70.4
UNITED STATES OF AMERICA	104	91.5	104	89.0	104	88.5	104	89.0
Total	441	81.0	444	78.7	438	73.6	460	77.8

The following information is included in the totals:

TAIWAN, CHINA	6	91.4	6	92.4	6	87.7	6	90.5
---------------	---	------	---	------	---	------	---	------

アングラ 原子力発電所 3号機の建設

アングラ3号機:140万5000kW、アレバ社PWR



2010年6月、コンクリート注入開始



Ministério de Minas e Energia
Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2022



アングラ原子力発電所
3号機
140万5000kW
2018年

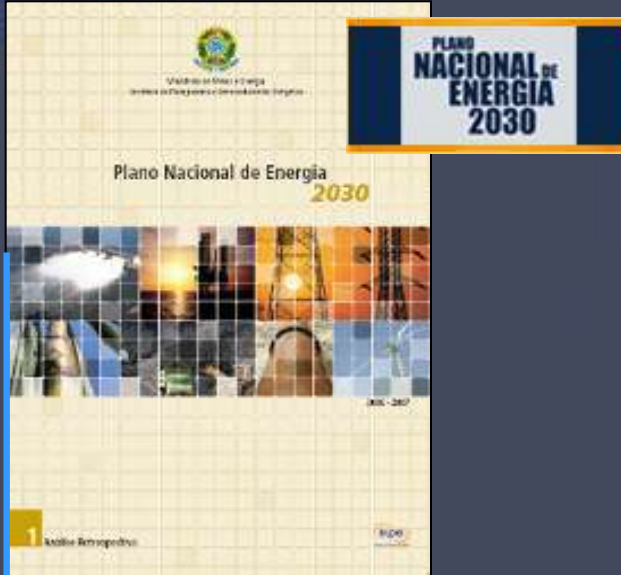




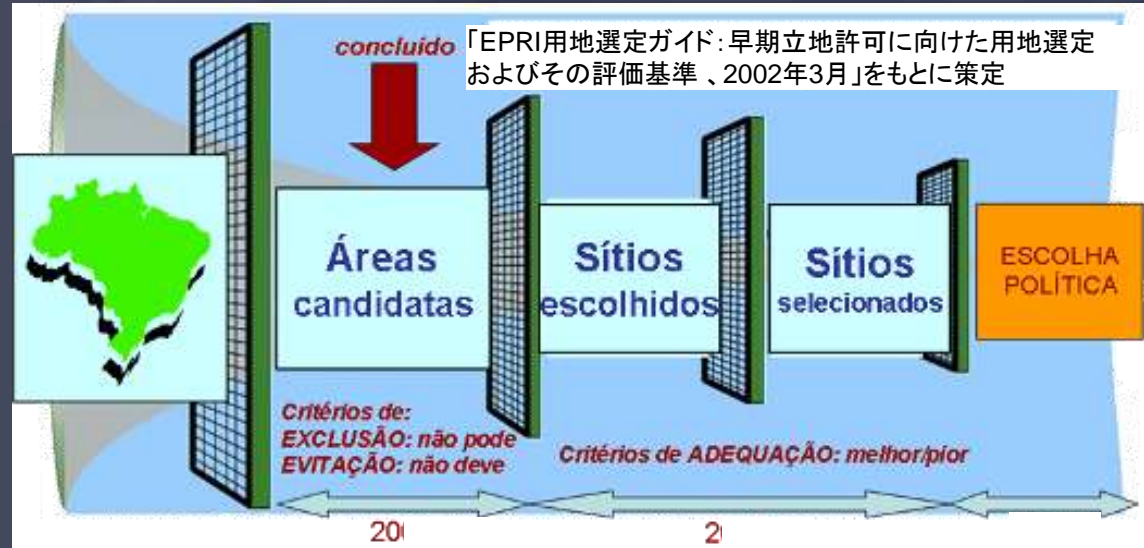
アングラ 3号機の建設



国家エネルギー計画 2030



米国電力研究所 (EPRI) による 用地選定ツール



1) 北東部
200万kW

2) 南東部
200万kW

運転開始:
2025 - 2030年

ブラジルにおける原子力のポテンシャル・サイト地図



電力システムの進化

原子力発電設備容量 - 2030年

火力ベースの発電システム



	追加発電量(万kW) 最大を想定した場合	追加発電量(万kW) 最小を想定した場合
ブラジル	936.0	536.0
ロシア	3376.0	2676.0
インド	3216.0	1626.0
中国	4383.0	2483.0



ブラジルにおける原子力発電の可能性(地図)



北東部



南東部



南部



ブラジルにおける原子力発電の拡大

サン・フランシスコ川沿岸の原子力発電所



現在の活動

- プラント建設のパラメーター
 - ベンダーへの技術提案募集 (RFI)
 - 早期立地許可報告書
- ブラジルの電力事業者要求文書
 - URD/EUR モデル
- ビジネスモデル
 - 民間の参入
- 経済・財務面での実現可能性調査
- 社会・経済的影響の調査



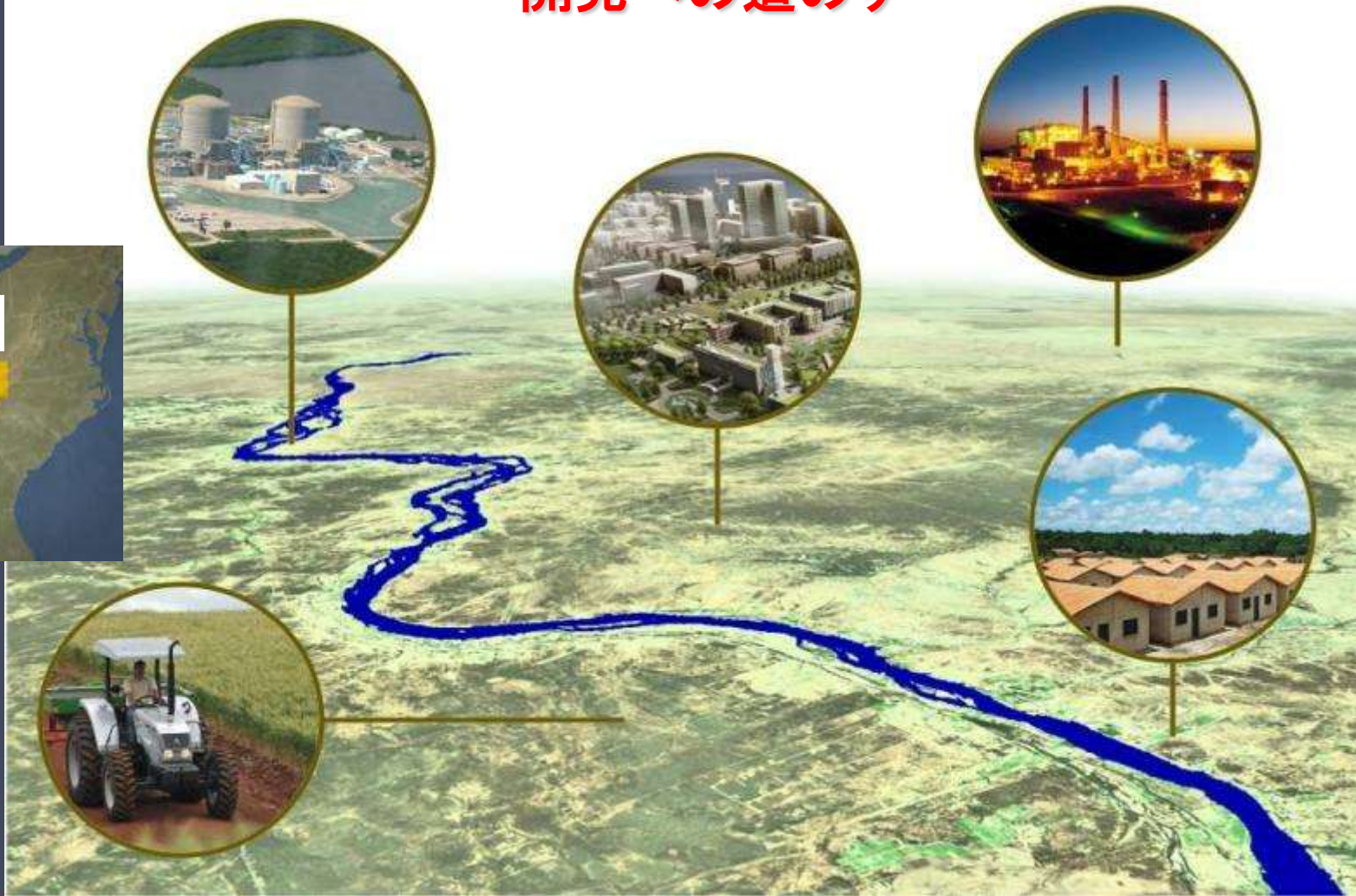
ブラジルにおける原子力発電の拡大

サン・フランシスコ川沿岸の原子力発電所

テネシー川
流域開発公社
(TVA)の
ロードマップを
ヒントに



開発への道のり





新たな原子力発電所の建設 今後の課題

ブラジルにおける新規建設計画

新規建設が頓挫した結果どうなるのか？

新たな原子力プログラムが作られるのか？

他国からの教訓

公衆の反応

- 政府によるリーダーシップ
- 国レベルでの公衆の意見
- 地元住民の意見
- 福島第一原発事故
- 市民の支持を高める
- 信頼性、リスクというものの理解、リスク管理
- 地域社会にとってのメリット

ビジネスモデル

- 市場判断の投影(商業化)
- 原子力発電所のオーナーシップ
 - 国営か、民間か？
 - ブラジル資本か、国外資本か？

新たな原子力計画のための資金調達

- 資金調達はどこから？
- 資金調達面での障害
- 代替となる方法

サプライチェーンとスキル

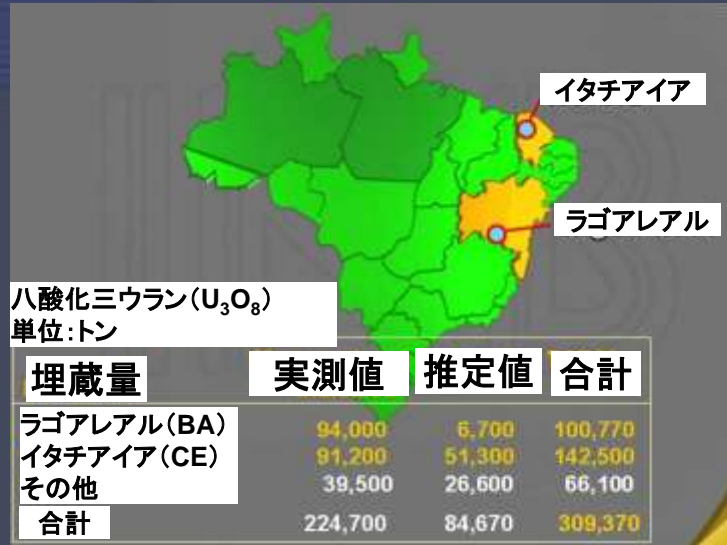
- ボトルネック、遅延の可能性
- ブラジル企業にとってのビジネスチャンス
- スキル

加圧水型原子炉(PWR)技術の選定

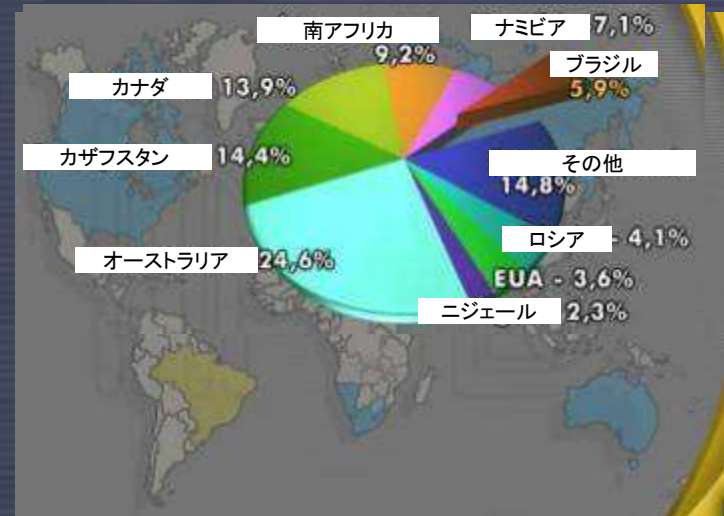
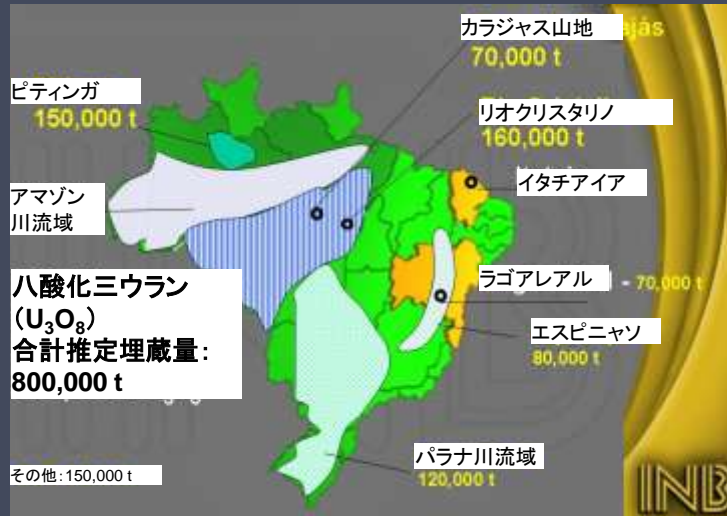
- 運転中、建設、設計
- 初号機(FOAK)、NOAK
- 受動的安全性、能動的安全性

ブラジルのウラン資源

世界屈指の埋蔵量



現在までに探査した面積：
国土の30%で深さ100mまでしか
探査していないが、それでも
世界第6位の埋蔵量

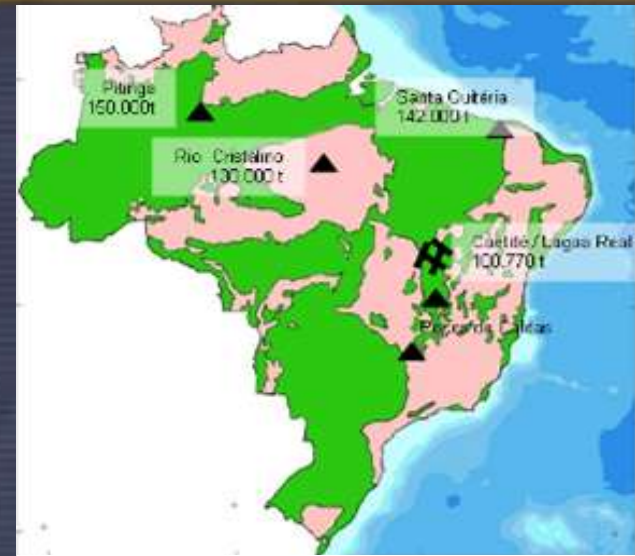




ブラジルのウラン資源

世界屈指の埋蔵量

ブラジル全土の探査が
完了すれば、
世界第2位の埋蔵量となる
可能性がある



先カンブリア紀の土壤
 ブラジル: 340万km²
 オーストラリア: 380万km²



ブラジルの核燃料産業

ウラン + 技術力





ブラジルの核燃料産業

ウラン + 技術力



レゼンデ：
粉末・ペレット
濃縮
燃料加工



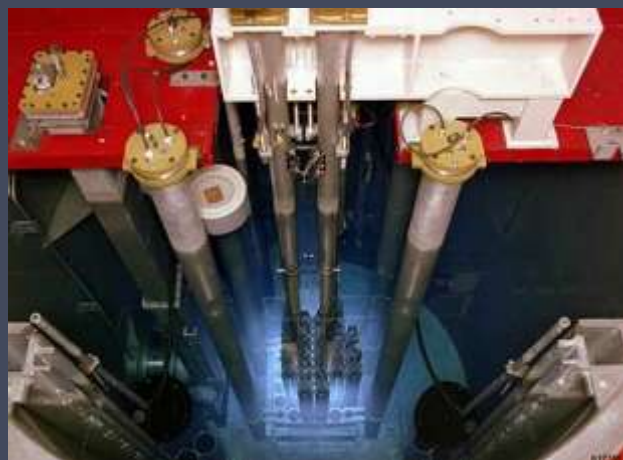
ブラジルの研究炉



IEA-R1m原子炉
CNEN/IPEN
サンパウロ



IPEN/MB-01原子炉
サンパウロ



TRIGA原子炉
CNEN/CDTN
ベロオリゾンテ

Argonauta原子炉
CNEN/LEN
リオデジャネイロ

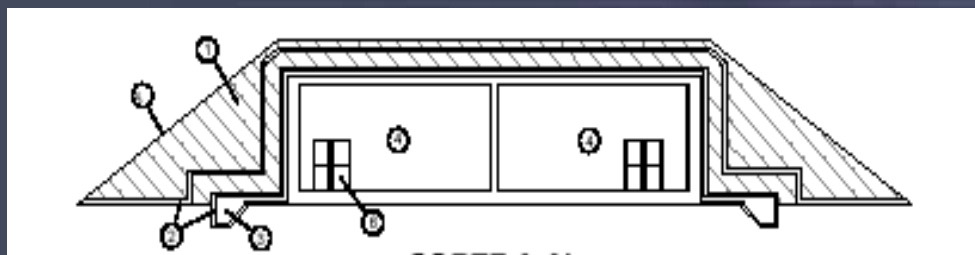




ブラジルの研究炉



低・中レベルの廃棄物 最終処分





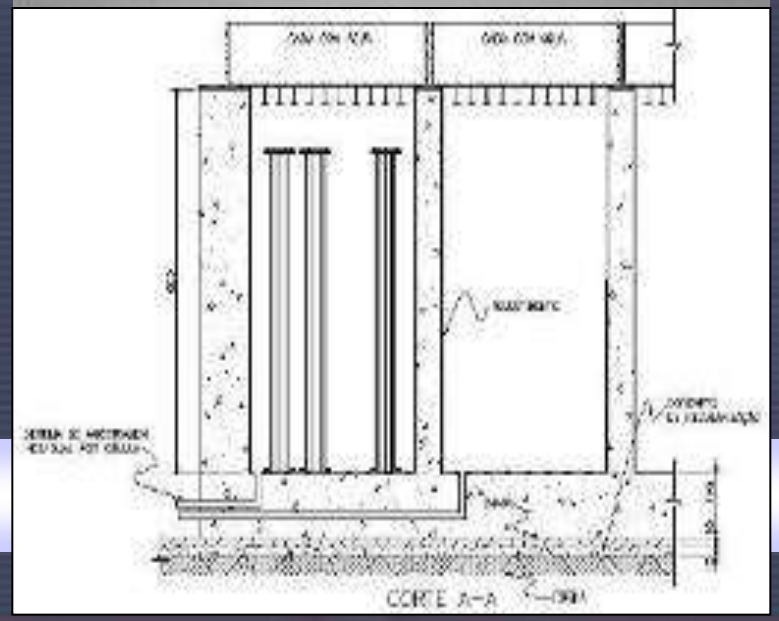
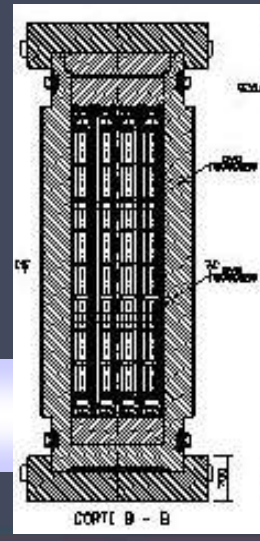
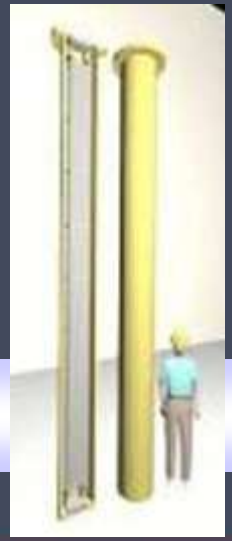
使用済み燃料の長期貯蔵 ブラジルの解決策

外部プール(2020年)



500年の貯蔵に
耐える設計

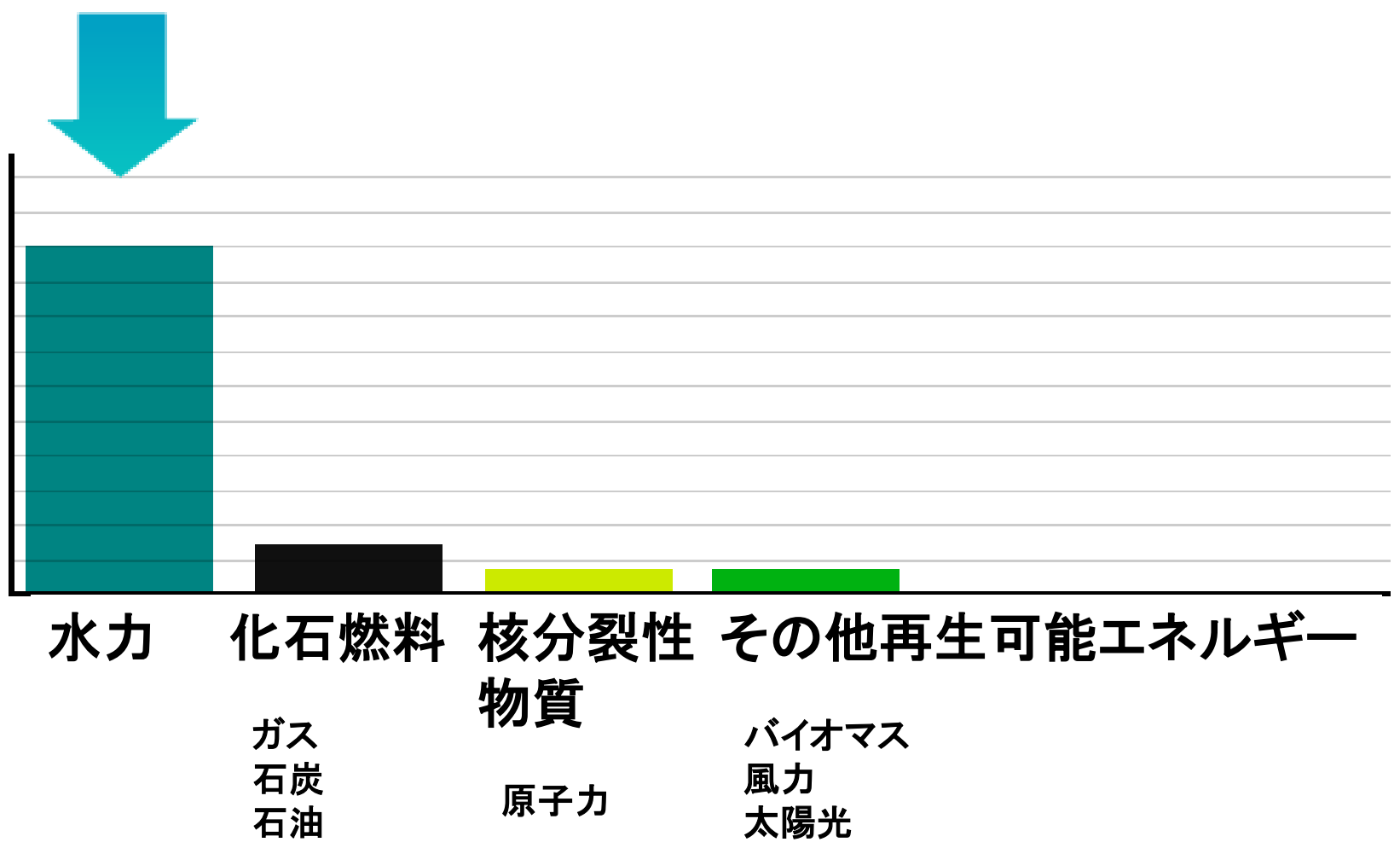
長期中間貯蔵施設(2035年)





ブラジルでなぜ原子力か

水力・火力補完システムへの移行



アマゾンの森林

サッカー

カーニバル

コーヒー



イノベーション

競争力

競争力

生産性



聴こえてきました

ありがとう

採掘

濃縮

二酸化ウラン

濃縮

二酸化ウラン

ペレット

燃料要素

発電

