

ブラジルの原子力発電開発

2015年7月30日 文責：国際部 中杉秀夫

<ブラジルの基礎データ>

面積	851.6万km ²	世界第5位	日本の約21.9倍
人口	2億266万人	世界第6位	*2014年7月推定
首都	ブラジリア		
GDP(購買力平価)	3兆730億米ドル	世界第8位	*2014年推定
一人当たりGDP(購買力平価)	15,200米ドル	世界第101位	*2014推定
実質経済成長率	0.3%	世界第198位	*2014年推定
総発電設備容量	1億1,910万kW	世界第11位	*2011年推定
一人当たり年間電力使用量	2,113 kWh		*2011年推定
通貨	レアル(略称 BRL)		
対米ドル為替レート	US\$1=BRL 2.36		*2014年推定 注) 2015年7月29日現在 1 BRL=36.76円
会計年度	1月1日-12月31日		

(出典)米国 CIA「The World Factbook」2015年6月11日版

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>

<ブラジルの原子力発電開発の要約>

- ブラジルは次のようにエネルギー大国である(数値は断らない限り2013年)。
 - エネルギーの生産量は世界第10位。同消費量は世界第8位。
 - 「石油と液体燃料(含 LNG、バイオ燃料)」生産量(2014年)は世界第9位。
 - 石油消費量は世界第6位。
 - 大規模なオフショアと岩塩層下(プレソルト)の油田発見が続いており、世界最大規模の石油生産国になる可能性がある。
 - バイオ燃料大国で、米国に次ぎエタノールの生産と消費が多い。
- ブラジルの2013年の発電設備容量は1億2,700万kW(水力8,600万kW、化石燃料火力3,700万kW、その他風力・ソーラー・原子力等)。
 発電量は、5,700億kWh(水力71%、天然ガス11%、石油4%、バイオマス8%、その他)であった。
 注)日本の2013年度の発電設備容量は2億932万kW、発電量は9,230億kWhであった。
- このようにブラジルの中心電源は水力であり、その発電容量は8,600万kWとなっているが、乾季(6~9月)と雨季(11~5月)により発電量の変動が大きい「脆弱性」があり、実効的な容量は1,500~1,800万kWに過ぎない。

このため政府は、同じく水力発電を中心に行っているカナダの 50 年の経験に学び、水力発電逼迫時には火力発電*の投入で電力安定供給を図る「水力・火力補完システム」の整備を進めている。

* ブラジルでは、原子力発電も火力発電の一部として扱っている。

4. この「水力・火力補完システム」もブラジルでは 2000 年ころに始まったため、十分な体制整備ができておらず、大規模な電力危機が 2001 年初め*、2009 年 11 月**、2011 年、2012 年、2013 年、そして 2015 年 1 月と頻繁に起きている。

* 10 ヶ月にも及び、20%の節電を余儀なくされた。

** ブラジル 26 州中の 18 州とパラグアイ全域にわたった世界史上第 3 位の規模の停電。

5. 長期的には電源開発が必要である。

しかし利用効率のいい水力資源は 2020 年ころまでに使い尽くし、また大規模ダム建設には（洪水等環境破壊、先住民族の権利保護等）多くの制約がある。化石燃料火力で賄うと、高燃料コスト*、地球温暖化ガス放出が問題となる。

* 2013 年 1 月末～2 月の電力危機でブラジル石油公社(Petrobras)は、火力発電所操業のために 1,000 万ドル/日の LNG を輸入した。

6. このため、ブラジルですでに最安値のベースロード電源となっている原子力発電の開発を拡大する必要がある。

エネルギー利用率（設備利用率）でみてもアングラ 1 号機(62.6 万 kW)は 2011 年 88.6%、2012 年 97.4%、2013 年 70.9%、2014 年 88.2%、アングラ 2 号機 (124.5 万 kW) は 2011 年 99.0%、2012 年 89.5%、2013 年 90.1%、2014 年 86.6%を達成、IAEA 統計でも高稼働実績炉に上げられている。

7. 1986 年に経済状況等から工事を中断し、2010 年に工事再開にこぎつけたアングラ 3 号機 (140.5 万 kW) は、フランス AREVA 社との契約で 2018 年の運転開始をめざして作業が進展中である。

アングラ 3 号機以降、4～8 基×100 万 kW 級 PWR を建設する計画もある。

8. ブラジルは、（世界第 2 位と予想される）豊富なウラン資源をもち、1970 年代に当時の西独の技術移転で整備した原子力発電ならびに核燃料サイクル関連産業をもつことから、新興国の中でも原子力発電開発のメリットと実現性が明確な国のひとつである。

9. 世界に先駆けてトラテロルコ条約と呼ばれる中南米非核化条約を主導、NPT や包括的保障措置協定の締約国でもある。

10. 国民の理解、原発の所有形態、資金調達、サプライチェーン、技術向上等の課題はあるが、その原子力発電開発を露、仏・日、中、米等が注視している。

* 本調査は当協会の会員を初めとする方々に、各国の原子力関連情報をわかりやすく提供することを目的としています。このため執筆者個人の判断に基づいた記述が含まれ、必ずしも(一社)日本原子力産業協会の公式見解ではありません。予めご了承ください。

「ブラジルの原子力発電開発」目次

○ 「ブラジルの原子力発電開発」の要約	1
1. ブラジルのエネルギーならびに電力需給	4
1) ブラジルのエネルギーならびに電力の需給概況	4
a. エネルギー/ b. 石油/ c. バイオ燃料/ d. 天然ガス/ e. 発電	
2) ブラジルのエネルギー供給の特徴：水力に大幅依存	8
① エネルギーならびに電力の供給構造の特徴	8
② 水力資源の現実的な制約	8
3) 引き続き電力危機	10
2. ブラジルの「水力・火力補完システム」：水力発電の脆弱性をカバー	13
3. ブラジルの原子力発電開発	16
1) 開発体制	16
① ブラジル原子力委員会 (CNEN)	16
② ブラジル電力公社 (Eletrobras)	17
③ ブラジル原子力発電公社 (Eletronuclear)	17
④ ブラジル原子力産業会社 (INB)	18
⑤ NUCLEP	18
2) 運転・建設中・検討中の原子力発電プラント	20
① 運転中：アングラ-1・2号機	20
② 建設中：アングラ-3号機	21
③ 検討中の原子力発電プラント	22
3) 核燃料サイクル	23
① ウラン資源	23
② 核燃料産業：濃縮・燃料加工	25
③ 放射性廃棄物や使用済み燃料の管理・処分	26
4) ブラジルの原子力発電開発の課題	27
4. 国際的枠組みへの加入状況	29
<参考資料1> ブラジルの原子力開発黎明期の西ドイツの協力	31
<参考資料2> ブラジルと西ドイツの1980年代初めの原子力協力関係の協定・取極め	38

2015年4月13日の第48回原産年次大会でのブラジル原子力発電公社（Eletronuclear）のL.ギマランイス理事の発表「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」は、下記URLでご覧いただけます。

<http://www.jaif.or.jp/understanding/annual/48th/>

1. ブラジルのエネルギーならびに電力需給

1) ブラジルのエネルギーならびに電力の需給概況

○米国のエネルギー情報局（US EIA）のデータによるレビュー

US EIA のデータによりブラジルの状況を、a. エネルギー、b. 石油、c. バイオ燃料、d. 天然ガス、e. 発電、の順にレビューする。

（出典）2014年12月29日のUS EIAのブラジル編

<http://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=BRA>

a. エネルギー

（ブラジルのエネルギー消費量）

2013年のエネルギー消費量は世界第8位で、過去10年間で1/3以上増大。

注)2012年のブラジルのエネルギー消費量は 12.095×10^{15} 英熱量(British thermal unit=Btu)で、中国、米国、ロシア、インド、日本、ドイツ、カナダに次ぎ世界第8位（韓国は第9位）。

（エネルギー生産量）

2013年のブラジルのエネルギー生産量は世界第10位で、過去10年間で36%（主に石油とエタノールが）増大。石油はエネルギー生産量の41%、またエタノールは19%を占める。

注) 2012年のブラジルのエネルギー生産量は 9.758×10^{15} Btu で、中国、米国、ロシア、サウジアラビア、カナダ、インドネシア、イラン、豪州、カタールに次ぎ世界第11位。バイオ燃料生産量は44万9千バレル/日で世界第2位、再生可能エネルギーによるネット発電量は4,510億kWhで世界第3位。

b. 石油

（石油埋蔵量）

最近の大規模なオフショアと岩塩層下（プレソルト）の油田発見により、ブラジルは世界最大規模の石油生産国になる可能性がある。

<確認石油埋蔵量>

ー US EIA では2014年1月現在のブラジルの確認石油埋蔵量を132億バレルと見る。

- － ブラジルの石油規制機関 ANP*は 2013 年 12 月 31 日現在のブラジルの確認石油埋蔵量を「南米ではベネズエラに次ぐ」156 億バレルと見る。

* ANP : the Agencia Nacional do Petroleo, Gas Natural e Biocombustiveis (国家石油・天然ガス・バイオ燃料監督庁) : 鉱山エネルギー省 (MME) 傘下。石油、その副産物、燃料、潤滑油などの製造業者登録、輸出入ライセンス発給を担当。

(石油等生産量また輸出量)

2013 年、ブラジルは石油ならびに液体燃料*を 270 万バレル/日を生産 (200 万バレル/日が原油、52.7 万バレル/日がバイオ燃料)。

* 液体天然ガス、バイオ燃料も含むが、プレソルト層下からの原油生産 (30.3 万バレル/日) はこれには入れていない。

2014 年の「石油と液体燃料」の生産量は 295 万バレル/日 (世界第 9 位)。

- － 2014 年 9 月のブラジル政府発表では、「2020～2022 年までは原油 400 万バレル/日を生産する。2022 年まではこのうち 150～200 万バレル/日を輸出する」とのこと。

注) 2013 年の発表では、「生産は 500 万バレル/日。2021 年まで 225 万バレル/日を輸出」としていた。

US EIA は、「ANP によると、ブラジルは 2013 年に 38 万 1 千バレル/日の原油を輸出。これは前年比で 31%の減少。輸入国は、中国 11 万 5 千バレル/日、米国 11 万バレル/日、インド 4 万 9 千バレル/日」と解説。

(石油消費量また輸入量)

- － 2013 年の石油消費量は、300 万 3 千バレル/日で世界第 6 位。
US EIA は、2015 年も液体系燃料の需要が生産を上回ると見ている。
- － 2013 年、ブラジルは石油製品を (前年度比 12%増の) 52 万 8 千バレル/日輸入 (うち 17 万 9 千バレル/日が米国、7 万 千バレル/日がインドから)。

(岩塩層下 [Presalt] 油田 : プレソルト石油)

- － 2005 年のブラジル石油公社 (Petrobras) の試掘以来注目されている。
2007 年には、ブラジル石油公社、英国の BG グループ、ポルトガルの Petrogal のコンソーシウムが推定 50～80 億バレル・石油換算 (boe) の炭水化合物を海面下 18,000 フィートの岩塩層の下に発見した。
- － 2013 年 10 月、Libra 油田で回収可能埋蔵量 80～120 億バレル、またその翌月に Franco 油田でそれ以上を発見。2014 年 5 月にはブラジル石油公社が Entorno de lara block で可能性として 50 億バレルのプレソルト石油を発見した。
- － ブラジルのプレソルト石油生産量は、2013 年には平均 30 万 3 千バレル/日だったが、2014 年 10 月には 60 万 7 千バレル/日になった。

c. バイオ燃料

(バイオ燃料生産量また輸出量)

- ブラジルはバイオ燃料大国。米国に次ぎエタノールの生産と消費が多い。ANPによると、2013年のブラジルのエタノール生産量は47万9千バレル/日（前年比18%増）。ガソリンへの混入比は2013年5月には25%としていたが、ガソリン輸入を減らすため27.5%への増大を検討中。
- ブラジルは2013年に5万バレル/日のエタノールを輸出（81%は米国向けで3万バレル/日。韓国、オランダ、日本にも輸出）。バイオ・ディーゼルも生産するが2013年で5万バレル/日と少ない。

d. 天然ガス

(天然ガス埋蔵量)

- 埋蔵量はベネズエラに次ぎ南米第2位である。US EIAによると、2014年初め時点でのブラジルの天然ガス確認埋蔵量は3,879億 m^3 である。ANPによると、2013年末時点でのこの数値は4,531億 m^3 である。

(天然ガス生産量)

- 2013年の天然ガス生産量は258億 m^3 だが、このうち213億 m^3 が乾性天然ガスだった。その他プレソルト石油生産時の副生量が37億 m^3 あった。

(天然ガス消費量また輸入量)

- 天然ガスは、ブラジルの総エネルギー消費の8%を占める。ブラジルは（輸入分を含めて）天然ガス368億 m^3 を消費した。このうち乾性天然ガス*の国内消費分は254億8千万 m^3 以上である（天然ガス供給事業者75%、精製事業者と肥料プラント14%、電気事業者11%）。*メタンが主体を占めエタン、プロパン、ブタン等は比較的少ない。
- ブラジル石油公社では、2020年までに国内需要が480億1千万 m^3 に達すると予測する。2013年のブラジルの天然ガス輸入量は169億6千万 m^3 （前年比27%増）。パイプラインでボリビアとアルゼンチンから、またLNGの形でナイジェリア、カタール、スペイン、トリニダード・トバゴから輸入している。

e. 発電

(発電容量)

- ブラジルのエネルギー計画会社「Empresa de Pesquisa Energetica (EPE)」によると、ブラジルの2013年の発電容量は1億2,700万kW（水力8,600

万 kW、化石燃料火力 3,700 万 kW、その他風力・ソーラー・原子力等)。

注) US EIA のデータでは、水力 8.7 万 kW、化石燃料火力 3.7 万 kW となっているが誤植と思われる。

(発電量)

- 2013 年の発電量は、5,700 億 kWh (公的事業者 4,840 億 kWh、自社発電 860 億 kWh、その他) であった。

発電量構成は水力 71%、天然ガス 11%、石油 4%、バイオマス 8%、その他であった。

- 2013 年のブラジルの水力発電量は、4,050 億 kWh であった。

ブラジルの基本方針は、渇水期に備え水力発電への依存を軽減させることにあるが、水力ダムの建設は続けられている。

パラグアイと共同運営している Itaipu ダムは 1,400 万 kW*で世界第 1 位の容量で 2013 年には 986 億 kWh を発電した。ブラジルではさらに (中国の三峡ダムに次ぐ世界第 3 位の) アマゾン流域に Belo Monte ダムを建設中 (2016 年完成で、プロジェクト・コストは 130 億ドル)。 *1,700 万 kW という報道もある。

図表 1 : 2011 年の世界の主要発電国 (単位: ネットで 10 億 kWh)

中国	米国	日本	ロシア	インド	カナダ	ドイツ	フランス	ブラジル	韓国
4,491	4,100	1,031	997	975	623	567	553	530	490

注) ブラジルは、2014 年のサッカー・ワールド・カップ開催時に過去 40 年間最悪の旱魃に見舞われた。水力発電の不足分を化石燃料火力で補った費用が 50 億ドルに上った。

(消費電力量)

- 2013 年の末端消費電力は 5,160 億 kWh (工業用 2,100 億 kWh、家庭用 1,250 億 kWh、エネルギー分野 300 億 kWh、他) であった。

(以上 a. ~ e の出典) 2014 年 12 月 29 日の US EIA のブラジル編

<http://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=BRA>

<ブラジルの 2010 年/2020 年の比較>

- 人口は毎年 1.0% 増大し 1 億 9,200 万人が 2 億 500 万人になる。
- GDP は毎年 5.0% 増加。一人当たりの GDP は毎年 4.3% 増加し 16,705 レアルが 25,424 レアルになる。
- エネルギー消費量は毎年 5.0% 増加し 2 億 7,000 万石油換算トン (toe) が 4 億 4,000 万 toe になる。一人当たりのエネルギー消費量は毎年 4.0% 増加し 1.39toe が 2.15toe になる。
- 総電力消費量も毎年 4.7% 増加し 5,500 億 kWh が 8,700 億 kWh になる。一人当たり電力消費量は毎年 4.0% 増加し 2,390kWh が 3,561kWh になる。

(出典) 2015 年 4 月 13 日の第 48 回原産年次大会でのブラジル原子力発電公社 (Eletronuclear. BEN あるいは ETN とも略称) のレオナン・ギマランイス企画・経営・環境担当理事発表「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」。原典は、2010 年 10 月の「Plano Decenal 2020 (国家エネルギー拡大 10 年計画 2020)」、IBGE (ブラジル地理統計院)。

2) ブラジルのエネルギー供給の特徴：水力に大幅依存

注) 2015年4月13日の第48回原産年次大会でのブラジル原子力発電公社 (Eletronuclear) の L. ギマランイス理事の発表「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」のデータを中心にまとめたため、1) での US EIA のデータと一致してはいない。

①エネルギーならびに電力の供給構造の特徴

- ・ブラジルのエネルギー供給構造は、他の国と大きく異なっている。

図表 2：2013年でのエネルギー／電力の供給源別構成比(%)

		石油	石炭	天然ガス	原子力	水力	さとうきび由来	その他
エネルギー	世界平均(%)	32	28	21	6	2	0	11
		81				13		
	ブラジル(%)	37.5	5.3	10.3	1.4	14.1	17.5	13.9
		53.1				45.5		
電力	世界平均(%)	5	41	22	13	16	0	3
		68				19		
	ブラジル(%)	2.7	1.3	5.7	2.7	74.3	5.1	8.2
		9.7				87.6		

(原典) 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 の資料

- ・エネルギーでの石油依存は、世界平均の 32% に対しブラジルは 37.5% と高いが、CO₂ 排出量は非常に少ない。

図表 3：エネルギー部門の CO₂ 排出量

(単位) CO₂ 排出量 (t) / 石油換算エネルギー使用量 (toe)

	ブラジル	世界平均	OECD 平均	米	豪	独	日	中	印	メキシコ	ベネズエラ
t/toe	1.5	2.4	2.3	2.5	3.1	2.4	2.3	3.1	2.3	2.3	2.3

(原典) IEA によるエネルギー供給量の数値をもとに BEN で計算

- ・ブラジルの一人当たりの電力消費量は年間 2,400kWh と世界第 90 位である。

②水力資源の現実的な制約

- ・ブラジルの水力資源は豊富に見えるが、現実的な水力発電資源は 1,500 万～1,800 万 kW に過ぎない。

注) 「国家エネルギー計画 2030」では、水力発電について次のように記述している。

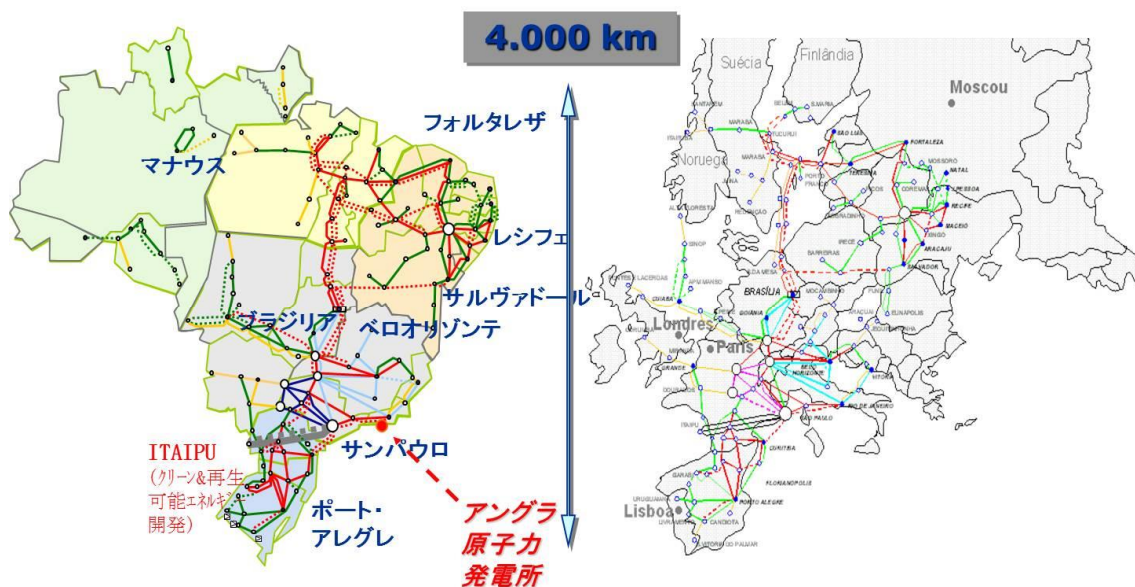
- ー 長期的な水力発電の拡大は限られている。
- ー 使用可能な水力ポテンシャルは 2020 年の末までに実質的に使い尽くす。
- ー 理論上利用可能な水力総容量は 2 億 6000 万 kW。今後 10 年間で開発可能な水力資源は 1 億 5000 万 kW～1 億 8000 万 kW。このうち約 1 億 kW がすでに利用されている。

- ・欧州に匹敵する広大な面積のブラジルでは、送電網のシステム統合がネック

になっており、水力発電の十分な有効利用がなされていない。

(原典) Lighting the Way(InterAcademy Council, 2007)。

図表 4 : ブラジルの電力系統概略図 (右は欧州の地図)

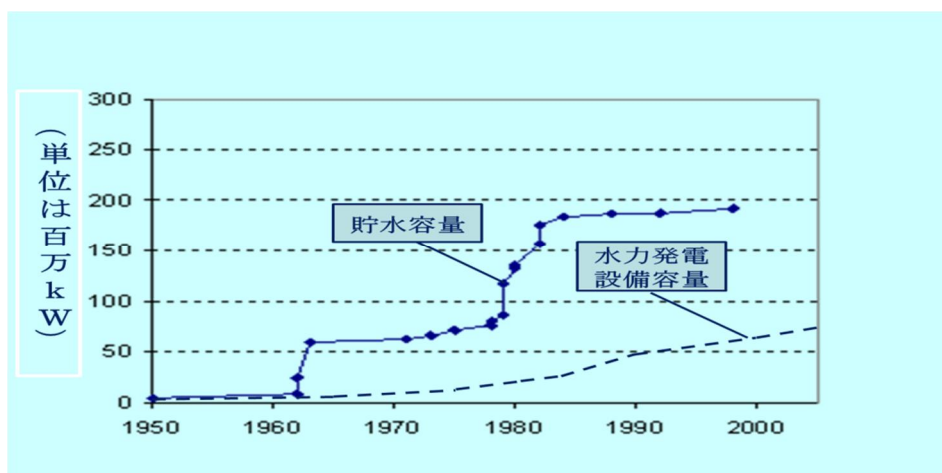


(出典) 前出 BEN ギマランイス理事の第 48 回原産年次大会での発表。

- ・ブラジルは水力発電に恵まれたことから、温室効果ガスを排出しない（世界で最も環境に優しい）国の 1 つとなったが、それは天候に左右される脆弱な電源構成の国になったことをも意味する。

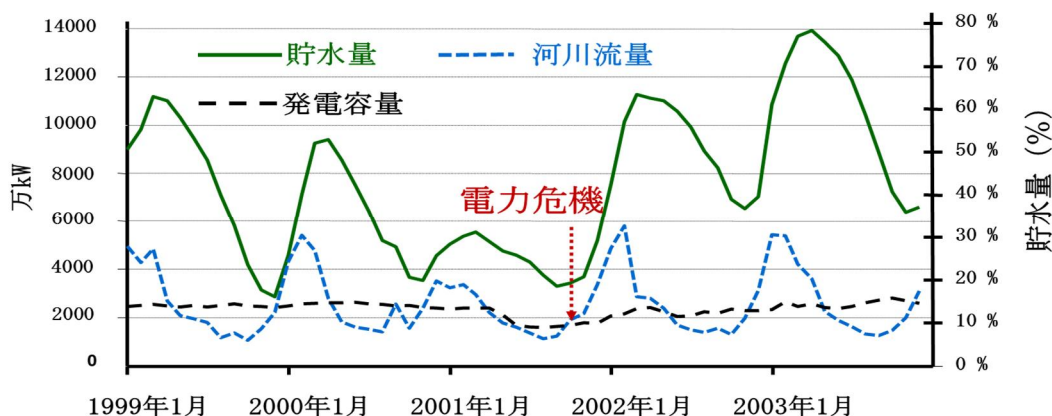
過去 30 年間でブラジルの水力発電設備は 3 倍になったが、貯水量がほとんど増えていない。水力発電の経済的・環境的利点が失われ、送電ピーク時の負荷を貯水量放出で調整する機能も大きく失われている。

図表 5 : 水力発電の設備容量と貯水量の推移



(出典) 前出 BEN ギマランイス理事の第 48 回原産年次大会での発表データを加工。

図表 6：貯水量の変化と電力危機



- 例えば、かつて 2 年間のエネルギーを満たす貯水量があったダムが、2003 年には 5.8 ヶ月分しかなくなった。自己調整能力により、2001 年等の早魃の年の難局を乗り切るには、少なくとも 5 ヶ月の水力発電分のエネルギーを蓄えておくことが必要になる。水力発電ダムが運转入りするには貯水から発電までには 2 ヶ月の準備が必要になる。

結局この制約条件を満たせないため、ブラジルの水力発電プラントの割合が絶え間なく下降している。

(出展) Leonam dos Santos Guimaraes “Nuclear Power in Brazil”

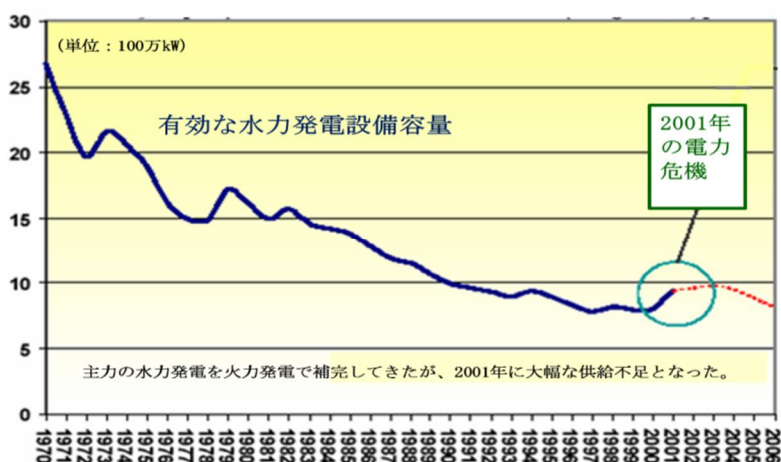
http://www.academia.edu/4163819/Nuclear_Power_in_Brazil

- このため水力発電逼迫時には火力発電*の投入で電力安定供給を図っている。
* ブラジルでは、ボイラーで蒸気を発生させタービンに吹き付けて発電する原理が同じことから原子力発電も火力発電の一部の扱いとしている。

3) 引き続き電力危機

- ブラジルでは水力が発電量の大部分を担い、年中雨が降るものの、乾季（6～9月）と雨季（11～5月）では発電量が大きく異なる脆弱性がある。
- 前述のとおり、ブラジルでは送電網のシステム統合も不十分である。停電は装置の故障・事故でも、電力需要に供給が追いつかない場合でも起きる。これらが伝播して接続先の送電システムを崩壊（停電）させることもある。
- 2001 年初め、経済成長に伴う電力消費の急増と雨不足での発電量減少が重なり「電力危機」が発生した。

図表 7 : 2001 年の電力危機までの有効な水力発電容量の低減



(出典) 前出 BEN ギマランイス理事第 48 回原産年次大会発表データを加工。

- ・ 政府は節電を呼びかけ、また大量電力消費に罰金を科す措置等の緊急対策をとった。

2011 年 3 月の東日本大震災の直後に (財)電力中央研究所がまとめた「諸外国における緊急節電の経験」では、2001 年の電力危機でのブラジル政府の対策を次のように紹介している。

図表 8 : ブラジルの 2001 年電力危機時の電力使用削減義務

部門	削減率 (%)
街路灯	35
政府部門および素材産業など	25
電力消費が月 1000kWh 以上の世帯	20
製造業	15
電力消費が月 1000kWh 以下の世帯	0

(原典) (OECD/IEA, 2005, Table2-2, p.26)

ある調査では、次のような政府の緊急節電策 (期間 10 ヶ月、削減目標 20%) も紹介している。

- － 義務を達成できなかった需要家には供給遮断あるいは 50～200%の課徴金徴収。
- － 電力消費量が月 200kWh 以下の世帯には、削減義務 (20%) を越える削減に対して 1 ブラジルリアル (BRL) /kWh のボーナスが与えられた。
- － 貯水率情報を毎日更新、周知を図った。
- － 電球型蛍光灯の配布：政府が 560 万個購入し、低所得世帯に配布した。

(出典) (財)電力中央研究所社会経済研究所ディスカッションペーパー「諸外国における緊急節電の経験：IEA 報告

“Saving Electricity in a Hurry” の紹介」

<http://criepi.denken.or.jp/jp/serc/discussion/download/11001dp.pdf#search=%E3%83%96%E3%83%A9%E>

数値やニュアンスが多少異なる以下の報道もある。

- － 市民が白熱電球に代え蛍光灯を買おうとして買い付け騒ぎが起きた。
- － このときの水力発電依存度は約 88%で、8 ヶ月間にわたり電力の配給制がとられ、一般家庭も企業も 20%の節電を強いられた。

(出典) 2013 年 2 月 6 日 International Business Times 記事 <http://jp.ibtimes.com/articles/326210>

- 2009 年*、2011 年、2012 年、2013 年にも大規模な停電が起きている。
 - * 2009 年 11 月 10 日 (火) の 22 時 15 分頃に発生した停電は、ブラジルの 26 州中の南部 18 州とパラグアイ全域にわたる世界史上第 3 位の規模のものであった。
暴風雨で両国共同運営のイタイプ水力ダムの主要高圧送電線の変圧器 3 台のショートが発端となり、送電線が切断し、ダム機能が完全に麻痺した。ブラジルでは 6~7 千万人が 2~4 時間の停電に見舞われた。メトロ鉄道網やバス交通も混乱に陥り、街路灯や信号機が消え交通事故が相次いだ。
- 2015 年に入ってもブラジル南東部と中西部で 1 月 19 日に 515 万 9,600kW、同 21 日に 518 万 9,400kW と両地域の電力需要の最高記録が立て続けに更新され、電力供給が追いつかず大停電が起きた。

猛暑 (サンパウロで 37°C 等) によるエアコン需要の急騰で、送電網に過度の負荷が掛かり、連鎖的なトリップに至ったもの。

発電量の不足は北東部、南東部、中西部の長期的な干ばつによって起きており、2001 年の電力危機時以上に深刻な事態といわれている。

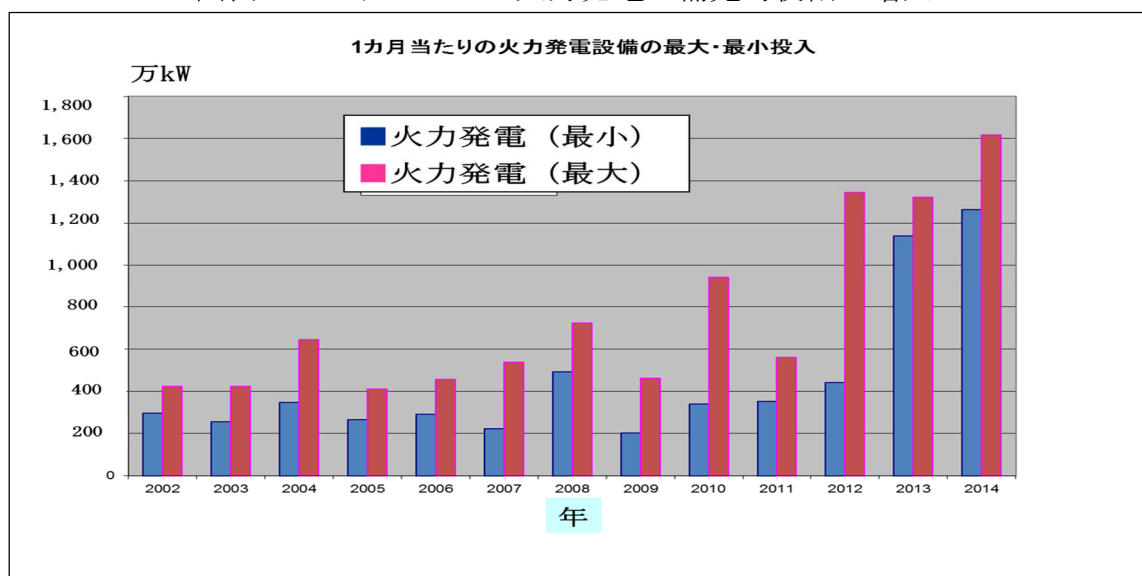
2. ブラジルの「水力・火力補完システム」：水力発電の脆弱性をカバー

- 2001年の電力危機以降、ブラジルは、同じく水力発電を中心としているカナダの50年の経験に学び、「水力・火力補完システム」への移行を推進している。

注) 同システムは、あくまで「水力資源の最大限の利用のため」水力発電の脆弱性を補強するものであり、高価な化石燃料火力を将来の中心電源とするものではない。

注) カナダでは原子力と石炭を補完電源の重点に位置づけている。ブラジルでは、天然ガス火力の新設を主流にするが、石炭と原子力は補助的な役割と見受けられる。

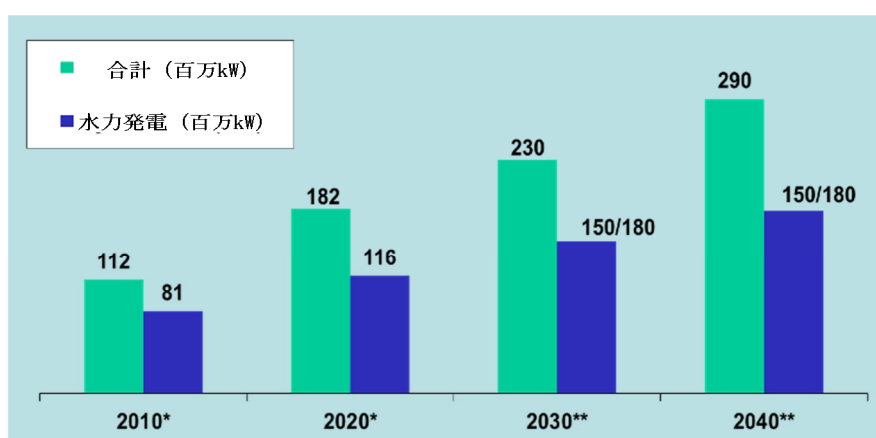
図表9：ブラジルでの火力発電の補完的役割の増大



(出典) 前出 BEN ギマランイス理事第48回原産年次大会発表

- このため水力発電は、割合は逡減するが中心電源の役割は担い続ける。

図表10：ブラジルの今後の電源構成中の水力発電の割合



(出典) 前出 BEN ギマランイス理事第48回原産年次大会発表

- ・「水力・火力補完システム」では、化石燃料に依存すると次の問題が起きる。
 - － 火力発電所が「ダブル・キャスト」で、常時待機を余儀なくされる。
 - － 地球温暖化ガス放出の問題もある。
 - － 化石燃料コストが高く負担となる。

注) 例えば、2013年1月末から2月にかけての電力危機時には、ブラジル石油公社(Petrobras)は、国内火力発電所の操業のために、1日当り1000万ドル分の液化天然ガスを輸入した。

(出典) 2013年2月6日 International Business Times 記事。 <http://jp.ibtimes.com/articles/326210>

注) ちなみに2014年は、6月に始まるサッカーのワールドカップに海外観光客60万人が訪れ、その施設への給電が電力会社には新たな義務となった。水力は当てにならず、電力各社は天然ガス、石炭、石油等の火力への転換で過去最大規模のコスト負担が予想された。このため2014年3月13日にブラジル政府は「電力会社救済のため2014年全体で120億レアル(当時52億ドル)を支払う」と発表している。

<http://jp.reuters.com/article/jpEnvNews/idJPTYEA2004820140325>

この一人当たり年間26ドルになる政府補助からも、ブラジルがいかに安価な安定電源を求めているのかがわかる。

- ・前述のとおり、「水力・火力補完システム」が実効的に機能しておらず、2009年、2011年、2012年、2013年、2015年にも大規模な停電が起きている。

注) 水力発電が限界に達した場合、低コストの火力から順次立ち上げるが、その火力の発電コストが(他の電力会社から購入できる)「スポット価格」を超えた場合には、その差額は消費者が負担する規定がある。

現政権は2014年10月の選挙公約に電気料金引き下げを掲げたこともあり、火力発電の利用が抑えられている。

これらが火力発電の迅速な立ち上げを遅らせ、大規模停電を引き起こしている。

電力会社は予想需要量の105%の発電量確保が義務付けられているが、2015年1月の停電の頃には103%の確保も覚束ないこともあった模様。

<http://www.saopauloshimbun.com/index.php/conteudo/show/id/20349/cat/1>

注) ブラジル電力庁(ANEEL)による発電コスト上限規制問題もある。1.420066レアル/kWh(現在約52.2円/kWh)がそれで、渇水時にはこれを上回る事態も起きている。

<http://www.nikkeishimbun.jp/2015/150127-23brasil.html>

ただしこの数値は正確かに疑問もある(例えば、2012年9月のルセフ大統領の「電気料金引き下げ発表」では電気料金が0.329レアル(約12.7円)/kWhになると報道された。発電コストと電力料金の違いはあるが、ここに挙げられた数値との差異が大き過ぎる

<http://jp.ibtimes.com/articles/326210> のP4上から4~6行目)。

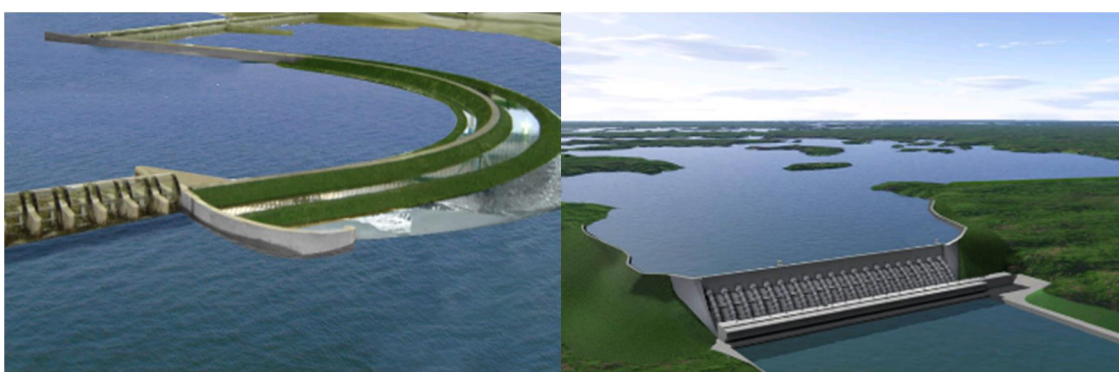
なお、平成24年3月政策研究大学院大学・東北大学・国連大学刊「平成23年度 環境経済の政策研究：日本の環境技術産業の優位性と国際競争力に関する分析・評価及びグリーン・イノベーション政策に関する研究 最終報告書」のP155には、ブラジルの電

力料金が低い理由（料金表は他国と大差はないが、各種連邦税、州税、市税等の加算分が電力料金の 50%以上を占める）が説明されている。

- このように、ダム水位上昇で電力供給力が一時的に回復しても、ブラジルのエネルギー安全保障の根本問題が残っている。
- 長期的には「電源開発継続」が唯一の解決策であるため、政府は北西部に水力資源を求めたが、大規模ダムでは洪水等環境破壊、先住民族の権利保護等の多くの制約がある。

これまでのアマゾン川流域での水力発電所の平均発電能力は 55%であるが、現在進められている以下のプロジェクトでは発電効率はさらに低くなる。

図表 11：建設中の水力発電所



（ロンドニア州マディラ・プロジェクト：650 万 kW）

（パラ州ベロモンテ・プロジェクト：1,100 万 kW）

（出典）前出 BEN ギマランイス理事第 48 回原産年次大会発表

ブラジルの電力の 8%を供給するマディラ・プロジェクトでは送電設備等を含め 269 億ドルが見込まれている。

<http://cade.cocolog-nifty.com/ao/2008/10/post-c444.html>

またベロモンテ・プロジェクトでは 110 億ドルとも 130 億ドルとも 170 億ドルともいわれる額が見込まれている。

<http://jp.reuters.com/article/2011/06/02/idJPjiji2011060200346>

<http://www.bloomberg.co.jp/news/123-L17AH30D9L3501.html> 他

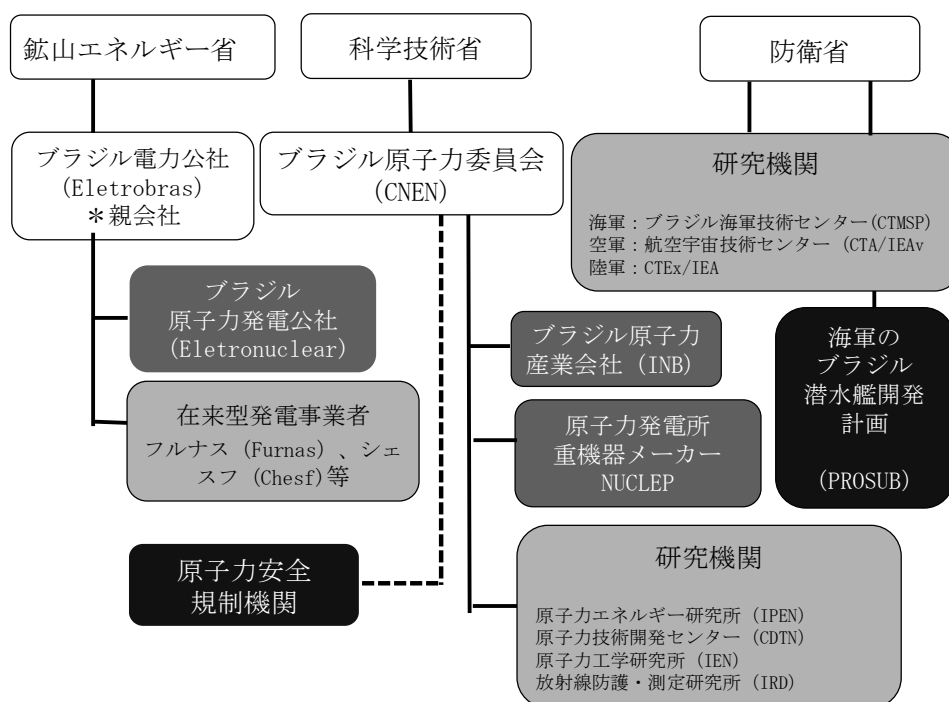
将来の水力発電所では発電効率は 20～25%に過ぎない。

3. ブラジルの原子力発電開発

1) 開発体制

- ・大統領の下、以下の体制で原子力発電開発を推進している。

図表 12：ブラジルの原子力発電開発体制



(出典) 前出 BEN ギマランイス理事第 48 回原産年次大会発表

①ブラジル原子力委員会 (Comissao Nacional de Energia Nuclear : CNEN)

- ・原子力政策の決定権限は大統領がもつが、CNEN は科学技術省の下で関係省庁、市民等の意見を取りまとめ、原子力政策に反映させるため「原子力政策高等審議会」を運営する。

- ・ CNEN は次のようなユニークな役割を持つ。

- 原子力平和利用の研究開発と安全規制の双方を担当する。
- すべての原子力研究開発機関を傘下にもつ (しかし行政的には独立)。

それらは、原子力エネルギー研究所 IPEN*、原子力技術開発センターCDTN**、原子力工学研究所 IEN***、放射線防護・測定研究所 IRD****) と、原子力産業会社 (ブラジル原子力産業会社 INB*****、原子力発電機器メーカーNUCLEP*****。

* IPEN : サンパウロ Sao Paulo に所在。

- 1957 年初臨界のプール型の 5MW 研究炉 IEA-R1mをもつ。医学用・工業用のアイソトープを生産。また材料試験、中性子散乱、中性子ラジオグラフィ、中性子セラフィ、放射化分析、地球年代学、教育・訓練等に利用。

- － 1988年初臨界の0.1kWのプール型のMB-01炉をもつ。材料試験や教育・訓練等に利用。
 - － 隣接のブラジル海軍技術センターCTMSPとウラン濃縮技術を共同研究開発している。
- ** CDTN:ベロホリゾンテ Belo Horizonte に所在。100kWのTRIGA Mark-I型研究炉 IPR-R1をもつ。1960年初臨界。アイソトープ生産、中性子ラジオグラフィ、放射化分析、教育・訓練等に利用。
- *** IEN:リオデジャネイロ Rio De Janeiro に所在。0.2kWのARUGONAUT型の研究炉 Argonautaをもつ。1965年初臨界。アイソトープ生産、中性子ラジオグラフィ、放射化分析、教育・訓練等に利用。
- **** IRD:リオデジャネイロに所在。
- (出典) IAEAのResearch Reactor Database <http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/ReactorSearch.aspx?rf=1>
- ***** INB:商業的燃料サイクル事業を担当。株式の51%はCNENが保有。
- ***** NUCLEP:原子力発電機器メーカー。

②ブラジル電力公社 (Eletrobras)

- ・ 鉱山エネルギー省の傘下にある。
- ・ グループとして発電規模世界第10位の電気事業者。
 - － 発電設備容量：3,943万kWでブラジルの発電設備容量の37%を保有。
水力が87%、石油・ガスが7%、石炭1%、原子力5%。
 - － 送電網：59,000km長で、ブラジル全体の送電量の56%を担う。

図表13：ブラジル電力公社 (Eletrobras) グループの構成

	Furnas 南東・中 西部	Chesf 北東部	Eletro -Norte 北 部	ITAIPU (クリーン&再生可能エネルギー。パラグアイと共同出資) 国境地帯の水力等開発	Eletronuclear (原子力発電 公社)全土	CGTEE (石炭火 力)南部	合計
自社設備 (万kW)	813.7	1,061.8	1,020.3	700.0	200.7	49.0	3,845.5
Eletrobrasとの 共有設備 (万kW)	96.8	-	1.1	-	-	-	97.9
合計	910.5	1,061.8	1,021.4	700.0	200.7	49.0	3,943.4

(出典) 前出 BEN ギマランイス理事第48回原産年次大会発表

③ブラジル原子力発電公社 (Eletronuclear。BENあるいはETNとも略称)

- ・ ブラジル電力公社の子会社で次のような原子力発電事業を担う。
 - － 運転中のアングラ (ANGRA) -1・2号機の運転・保守
 - － 建設中のアングラ-3号機のエンジニアリング、調達、建設と起動
今後の原子力発電事業の準備もブラジル原子力発電公社の業務である。
 - － 原発候補サイトの調査
 - － サイト使用許可の申請
 - － PWRメーカーへの技術提案の要求
 - － 電力要求文書の作成

- － 経済・財務実行可能性調査の準備
- － 新型 PWR の研究開発

＜ブラジルの原子力発電事業の運営者の変遷＞

- ・ブラジルの原子力開発は、1975年の西ドイツとの原子力協力協定締結を契機に次のステップを考えた。
 - － 西独 KWU 社製 130 万 kW×8 基を 15 年間にわたり建設することで、技術移転を受け、90%の国産化を図る。
 - － そのため、エンジニアリング（含原発の建設・運転）と核燃料サイクル部門の子会社をもつ国営の「ブラジル原子力開発公社（Empresas Nucleares Brasileiras S.A.=Nuclebras）」を設立する。
- ・しかしブラジルの経済不況から、最初のアングラ・プロジェクトの建設が頓挫した。1988年8月、アングラ2号機の建設は続いていたものの、ブラジル原子力開発公社が46億ドルの負債を抱え、同3号機は建設中断に至り、ブラジル原子力開発公社の主要事業を切り離すことになった。
 - － 原発の建設・運転はブラジル電力公社（Eletrobras）に移管。
 - ＋ アングラ-1 の運転とアングラ-2・3 の建設はブラジル電力公社の子会社（南東・中西部地域担当）の Furnas 電力（Furnas Centrais Eletricas S.A.）が担当。
 - ＋ 原発の設計・建設は、引き続き（ブラジル原子力開発公社 75 %と KWU 25 %の合弁）NUCLEN がアーキテクト・エンジニア社として担当。
 - － 核燃料サイクルのフロント・エンド事業は新組織ブラジル原子力産業会社（INB）に移管。
- ・1995年1月の国有財産払い下げに関する法律が成立。1997年に Furnas の原子力発電部門と NUCLEN が統合し、ブラジル原子力発電公社（Eletrobras Termonuclear S.A. = Eletronuclear）が設立され、すべての原発の建設と運転を担当することになった。

④ブラジル原子力産業会社（Industrias Nucleares do Brasil S.A. = INB）

- ・商用核燃料サイクル会社。ウラン採鉱、精錬、転換、濃縮、燃料製造を担当。
- ・CNEN 傘下にあるが、行政上は独立で、科学技術省へ直接に報告するという特殊な位置づけにある。

⑤NUCLEP（Nuclebras Equipamentos Pesados S.A.）

- ・原子力発電プラント重機器メーカー。

- 1975年のブラジル・西ドイツの原子力協力開始により以下の資本構成で発足。
 - － ブラジル原子力開発公社：88 $\frac{3}{5}$ %
 - － 西ドイツ Kraftwerk Union AG (KWU)：3 $\frac{4}{5}$ %
 - － 西ドイツ Vereinigte Oesterreichische Eisen-und Stahlwerke Alpine Montan AG (VOEST)：3 $\frac{4}{5}$ %
 - － 西ドイツ Gutehoffnungshuette Sterkrade AG (GHH)：3 $\frac{4}{5}$ %
- CNEN傘下にあるが、行政上は独立で、科学技術省へ直接に報告するという特殊な位置づけにある。

2) 運転・建設中・検討中の原子力発電プラント

① 運転中：アングラ-1・2 号機

図表 14：アングラ-1・2 号機



アングラ-1・2 号機（左が 2 号機、右が 1 号機）注）発電所名としては Admiral Alvaro Alberto。

- ・アングラ-1 は 65.7 万 kW の米ウェスチングハウス製 PWR。フルターンキイ（完成品引渡し）方式で契約。1985 年 1 月 1 日運転開始。

注）2015 年 7 月 29 日の IAEA の PRIS データベースでは、出力（ネット 62.6 万 kW、グロス 64.0 万 kW）、エネルギー利用率*は 2010 年 77.0%、2011 年 88.6%、2012 年 97.4%、2013 年 70.9%、2014 年 88.2%。累積発電量 829.1 億 kWh

* エネルギー利用率=旧「設備利用率」=年間発電量(kWh) / [定格発電出力 (kW) × 24 時間 × 365 日]

- ・アングラ-2 は 135 万 kW のドイツのシーメンス系列の Kraftwerk Union (KWU) 社製 PWR。2001 年 2 月 1 日運転開始。

注）同上 PRIS データベースでは、出力（ネット 124.5 万 kW、グロス 135.0 万 kW）、エネルギー利用率は 2010 年 87.1%、2011 年 99.0%、2012 年 89.5%、2013 年 90.1%、2014 年 86.6%。累積発電量 1,317.8 億 kWh

- ・IAEA の統計によると、アングラ-1&2 のエネルギー利用率は、2010 年は世界第 15 位、2011 年と 2012 年はともに世界第 2 位であった。2010～2013 年の平均エネルギー利用率では世界第 4 位であった。

（出典）BEN ギマランイス理事第 48 回原産年次大会発表。その時点では 2014 年の数値は不明。

②建設中：アングラ-3号機

図表 15：アングラ-3号機



アングラ-3号機は140.5万kWの仏AREVA製PWRで、2010年6月着工、2018年運転開始の予定。

(出典) BEN ギマランイス理事第48回原産年次大会発表

注) 前出のPRISデータベースでは出力が「ネット124.5万kW、グロス135.0万kW」となっているが、AREVAによる出力拡大が反映されておらず、間違いと思われる。

注) 2014年12月29日のUS EIAでは、アングラ-3号機の運転開始を2018年5月と見込む。

<アングラ3号機の建設の経緯>

- ・アングラ3号機は、もともとはアングラ2号機（130万kW級のPWR）のツインとして1976年に西ドイツのKWU社に発注。1983年に掘削工事を開始。しかし景気後退等により1986年（機器の点数で約70%が搬入された時点で）建設作業を一時中断。
- ・2006年11月、政府は国内電力需要増大に備え3号機の建設再開を決定。2007年7月、大統領が承認。2010年5月、CNENが建設許可を発給。2010年6月、3号機の工事を再開した。
- ・2011年、ブラジル原子力発電公社と仏AREVA社は同機の140万kW級への増強で合意した。
- ・2013年11月7日、ブラジル原子力発電公社とAREVA社は3号機の完成のため12億5千万ユーロの契約の締結を発表。最初の着工から30数年を経て2018年5月に発電開始の予定。
- ・AREVA社は、1次冷却系の機器やエンジニアリング・サービス、および次世代型のデジタル式計装制御系等を提供し、機器の据え付けや起動作業の監督支援も行う。

AREVA社は3号機に稼働中発電炉の最新の改良設計を盛り込む予定で、安全性に関しては国際原子力機関（IAEA）の安全指針はもちろん、福島事故後にブラジルの安全規制当局が設定した基準も満たす方針。具体的には、冷却水タンクと電力供給システムを追加し、水素再結合器、フィルター付きベント・システムも設置する。

- Andrade Gutierrez が土木作業、Engevix が土木設計構造物の一部、Confab と Bardella to NUCLEP のコンソーシウムが国産設備を担当する。
- ブラジル原子力発電公社は、3 号機の完成に向け残りの機器の発注先も、2013 年末までに決定する。
(以上出典) 2013 年 11 月 14 日原子力産業新聞。
- 2014 年 2 月 10 日、ブラジル原子力発電公社は 3 号機の機器組み立てで地元企業への 30 億レアルの発注を発表。1 次系はケイロス・ガルボン等 3 社、2 次系はアンドラーヂ社連合等。
(出典) 2014 年 2 月 20 日原子力産業新聞

(出展) Leonam dos Santos Guimaraes “Nuclear Power in Brazil”

http://www.academia.edu/4163819/Nuclear_Power_in_Brazil

③検討中の原子力発電プラント

- アングラ-3 までで 341.2 万 kW の原発設備容量になるが「国家エネルギー計画 2030 (Plano Nacional de Energia 2030 = PNE 2030)」では、その後さらに 4 ～8 基の 100 万 kW 級 PWR を建設することを予定している。
 - － 「基本シナリオ」：400 万 kW (北東部 200 万 kW、南東部 200 万 kW。運転開始 2025～30 年)
 - － 「最大シナリオ」：600 万 kW
 - － 「最小シナリオ」：200 万 kW

注) 経済高成長の代表とされる BRIC 諸国の 2030 年時点为目标とする原発建設計画 (最大ケース/最小ケース：単位万 kW) は、ブラジル (936/536)、ロシア (3,376/2,976)、インド (3,216/1,626)、中国 (4,383/2,483) となっている。

(出典) BEN ギマランイス理事第 48 回原産年次大会発表

図表 16：ブラジルの今後の原子力発電サイト候補地



40 の候補地を、米国電力研究所 (EPRI) の「早期立地許可に向けた用地選定およびその評価基準。2002 年 3 月 No. 1006876」に基づき 5 候補地に絞り込んでいる。

注) 福島原発事故後の 2011 年の半ばから、国家エネルギー計画 (PNE) の見直しでブラジル政府の逡巡も報じられている。<http://www.nikkeishimbun.com.br/nikkei/html/show/110604-22brasil.html>

注) PNE2030 の原発増設計画に主要国の原子力産業界は強い関心を示している。

2012 年末から ATMEA (仏 AREVA 社と三菱重工業の合弁) や露ロスアトムがブラジルで PR イベントを開催。ATMEA はブラジルの国産化支援を強調、露は建設・運転・財政投資の用意があると表明。2013 年 8 月には中国の国家核電技術公司 (SNPTC) がリオデジャネイロ事務所を開設した (海外事務所は米国・南アに次ぎ 3 番目)。2015 年 6 月ウェスチングハウス社は AP1000 の製造準備のため NUCLEP 社覚書を締結。

(出典) 2008 年 4 月 24 日、2012 年 12 月 6 日、2013 年 6 月 20 日、同 9 月 5 日、2015 年 6 月 22 日の原子力産業新聞、また日本原子力産業協会刊 2013 年 6 月号海外原子力ニュース。

https://www.jaif.or.jp/member/contents/os_2013-06.pdf#search=%E3%83%96%E3%83%A9%E3%82%B8%E3%83%AB%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E9%96%8B%E7%99%BA%E6%B4%BB%E5%8B%95%E5%8D%94%E4%BC%9A%E5%88%EF%BC%A1%E5%88%EF%BC%A2%E5%88%EF%BC%A4%E5%88%EF%BC%A1%E5%88%EF%BC%AE%E5%88%EF%BC%89

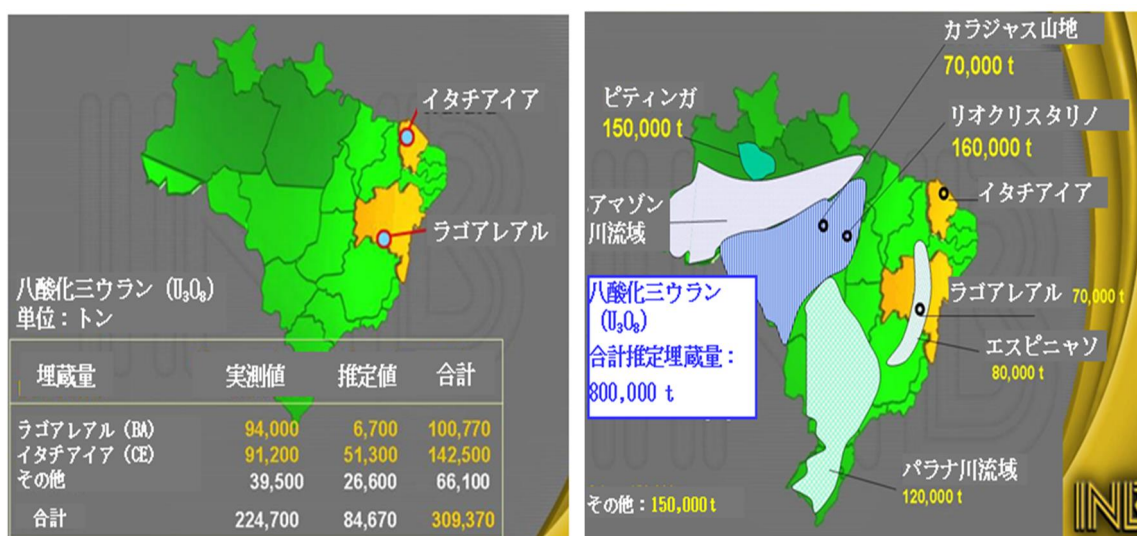
2015 年 6 月、「ロスアトム・ラテンアメリカ社」のリオデジャネイロ事務所設置の商業登記がなされた。(出展) 2015 年 7 月 3 日原子力産業新聞。<http://www.jaif.or.jp/150703-b/>

3) 核燃料サイクル

①ウラン資源

- ・国土の 30% での深さ 100m までの簡略探査では世界第 6 位のウラン埋蔵量がある。全土精査なら世界第 2 位と予測される。ブラジルは濃縮・転換を含めオープン核燃料サイクルの全段階の技術をもつ。米露以外では、大規模なウラン埋蔵量と核燃料国産化の全技術の双方をもつ数少ない国である。

図表 17 : ブラジルのウラン資源



(実測値で 22 万 4,700 t)

(推定埋蔵量なら 80 万 t)

・ブラジルのウラン資源国での位置づけを、埋蔵量と生産量の2つの表で示す。

図表 18: 世界の主要ウラン資源国の埋蔵量 (単位: kg)

	既知資源(2013年1月1日現在、<US\$260/kgU)				
	確認資源	推定資源	合計	内<US\$130/kgU (比率)	
豪州	1,208,000	590,300	1,798,300	1,706,100	29%
米国	472,100	—	472,100	207,400	4%
カナダ	454,500	196,000	650,500	493,900	8%
カザフスタン	373,000	502,500	875,500	679,300	12%
ニジェール	325,000	79,900	404,900	404,900	7%
ナミビア	296,500	159,100	455,600	382,800	6%
ロシア	261,900	427,300	689,200	505,900	9%
南アフリカ	233,700	217,100	450,800	338,100	6%
ウクライナ	141,400	81,300	222,700	117,700	2%
中国	120,000	79,100	199,100	199,100	3%
ブラジル	155,100	121,000	276,100	276,100	5%
世界合計	4,587,200	3,048,000	7,635,200	5,902,900	100%

注) 既知資源 (Identified Resources) : 発見済みの資源。

確認資源 (Reasonably Assured Resources) : 鉱床の規模・品位・形状が明らかなもの。

推定資源 (Inferred Resources) : 鉱床の規模・特性に関するデータが不十分なもの。

図表 19: 主要国のウラン生産量 (単位: tU)

国	2010年	2011年	2012年(比率)		2013年推定(比率)	
カザフスタン	17,803	19,450	21,240	36%	22,500	38%
カナダ	9,775	9,145	8,998	15%	9,000	15%
豪州	5,900	5,967	7,009	12%	6,700	11%
ナミビア	4,503	4,078	4,653	8%	4,820	8%
ニジェール	4,197	4,264	4,822	8%	3,859	6%
ロシア	3,563	2,993	2,862	5%	3,133	5%
ウズベキスタン	2,874	2,500	2,400	4%	2,400	4%
米国	1,630	1,582	1,667	3%	1,700	3%
中国	1,350	1,400	1,450	2%	1,450	2%
ウクライナ	837	873	1,012	2%	1,075	2%
マラウイ	681	842	1,103	2%	1,200	2%
南アフリカ	582	556	467	1%	540	1%
インド	400	400	385	1%	400	1%
ブラジル	148	265	326	1%	340	1%
世界合計	54,653	54,740	58,816	100%	59,531	100%

(出典) : とともにレッドブック 2014 (Uranium 2014 : Resources, Production and Demand) を基

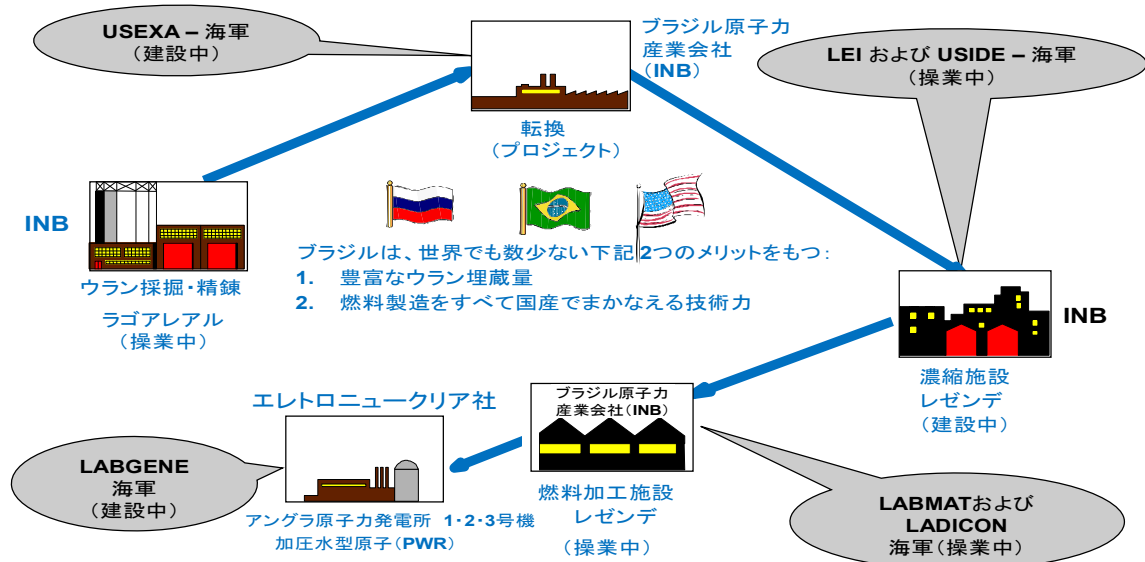
に(一社)日本原子力産業協会国際部で作成。

注) BEN ギマランイス理事の第 48 回原産年次大会発表によると、ブラジルは全土のウラン探査が完了すれば、世界第 2 位のウラン埋蔵国となる可能性がある。ウランを多く含む先カンブリア紀の地質が豪州 380 万 km² に対して、ブラジルは 340 万 km² ある。2008 年の資料と推定される INB 作成資料 P20 では、総計 5 億トンの U₃O₈ の埋蔵ポテンシャルを紹介。

<https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/documents/RawMaterials/TC%20BRA/08%20Technical%20Meeting%20-%20AIEA-INB-Salvador-Brazil.pdf#search='IAEA%2FINB+Technical+Meeeting%2C+Salvador'>

②核燃料産業：濃縮・燃料加工

図表 20：ブラジルの核燃料産業



図表 21：濃縮・燃料加工のレゼンデ (Resende) 工場



③放射性廃棄物や使用済み燃料の管理・処分

- 低・中レベル廃棄物処分施設：

アバディアに1987年のゴイアニア放射線源事故の直後には事故で出た放射性廃棄物処分のため貯蔵施設が急遽建設され、1992年に操業を開始した。

その後モニタリング等を含め、多くの改良を加えた。

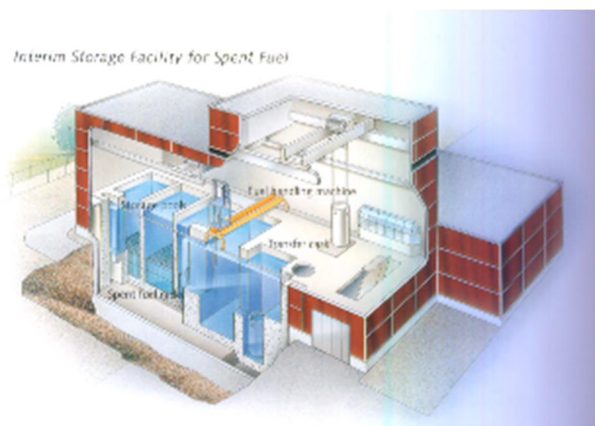
今同じ場所で、原発からの低・中レベル廃棄物の最終処分のための新施設の建設が検討されている（2023年に第Ⅰ期工事の完成・操業開始が目標）。

注）ゴイアニア事故からの放射性廃棄物の貯蔵で経験を積んだので、今回の低・中レベル廃棄物の最終処分施設の建設では、当初あった問題はすべて解決しているという。

- 使用済み燃料の長期貯蔵施設：

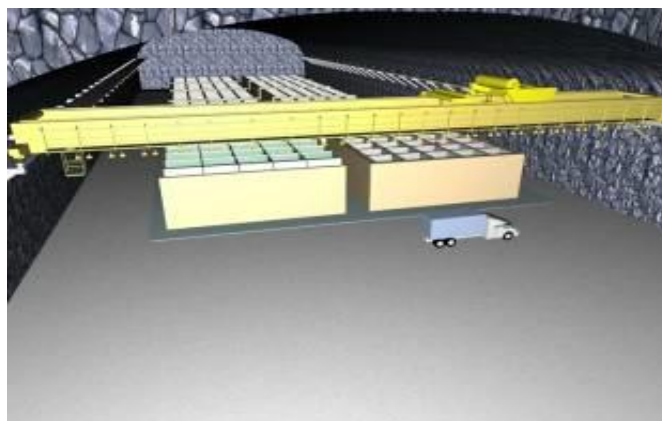
アングラ-1・2・3の容量を増強中で、外部プール最初のモジュールが2020年に操業開始となる。

図表 22：アングラ原発の使用済み燃料貯蔵用外部プール



500年耐久の長期的中間貯蔵施設も2050年完成を目標に研究開発が進行中。

図表 23：使用済み燃料の長期的中間貯蔵施設



- ・高レベル廃棄物管理：

原子力発電公社では、高レベル廃棄物長期貯蔵計画は今すぐ必要ではなく、国民に信頼されることがよりよい選択につながるとの判断の下、大学や研究機関といった科学界とパートナーシップを組み、ステップ・バイ・ステップで研究開発を進める計画である。20年後の施設建設を目標としている。

4) ブラジルの原子力発電開発の課題

- ・国民の理解、原発の所有形態（民間参入が重要）、資金調達、サプライチェーンと技能、炉技術の選択等が課題である。

- ・ブラジル国民は他国に比べて原子力発電に理解があり、とくに原発立地地域では支持率が高いが、それでも全体としては賛成 35.4%に比べて反対 65.7%になっている。

- ・ブラジル原子力発電公社では、技術開発の仕方について広く科学界の信頼を得ることを重視している。技術開発が確立したときにはそれを科学界から発信する等、国際的評価よりも国内的信頼を得るアプローチを優先するという。

注) ブラジルではドイツ製原発導入は1970年代の伯独の協力関係を基に新規協力協定締結で決定した。このとき協定締結に関して蚊帳の外に置かれたとしてブラジルの科学界が強く反対した。その教訓からブラジル原子力発電公社では、科学界の同意の重要性を認識している。「科学界が批判するとPAは成り立たない。科学界の支援があっても国民が理解・支援してくれるとは限らないが、国民のPAを得る前提条件として不可欠」とのことである。

(出典) BEN ギマランイス理事第48回原産年次大会発表。

- ・福島原発事故後、2週間以内に委員会を組織して「福島事故に学んだ対応計画」をまとめた。そのひとつが設計基準事故の再評価で、津波、地震に対する評価は十分だったが、たとえば豪雨による洪水から起きる被害の複合効果への備えは十分でないことが分かり改善した。地震国チリでは問題になろうが、ブラジルでは地震はそれほど深刻ではない。

4. 国際的枠組みへの加入状況

図表 24：ブラジルの国際的枠組み加盟状況

枠組み	発効	現状
IAEA 憲章	1957年7月29日	
IAEA の特権および免除に関する協定	1966年6月13日	1966年6月13日受諾
原子力損害の賠償に関するウィーン条約	1993年6月26日	1993年3月26日受諾
核物質の防護に関する条約	1987年2月7日	1981年5月15日署名。 1985年10月17日批准
改正核物質防護条約		非加盟
原子力事故の早期通報に関する条約	1991年1月4日	1986年9月26日署名。 1990年12月4日批准
原子力事故または放射線緊急事態の場合における援助に関する条約	1991年1月4日	1986年9月26日署名。 1990年12月4日批准
ウィーン条約とパリ条約の適用に関連する ジョイント・プロトコル		非加盟
原子力の安全に関する条約	1997年6月2日	1994年9月20日署名。 1997年3月4日批准
使用済み燃料管理および放射性廃棄物 管理の安全に関する合同条約	2006年5月18日	1997年10月31日署名。 2006年2月17日批准
ウィーン条約の改正プロトコル		非加盟
原子力損害の補完的補償に関する条約		非加盟
IAEA による技術援助提供に関する改定 補完条約	1991年2月27日	1991年2月27日署名
ラテン・アメリカとカリブ地域における原子力科 学技術の促進のための協力協定 (ARCAL)	2006年3月27日	1999年8月4日署名。 2006年3月27日批准

保障措置協定

アルゼンチン、ブラジル、ブラジル-アルゼンチン核 物質計量管理機関 (ABACC) ならびに IAEA の間の保障措置適用に関する協定	1994年3月4日	1991年12月13日署名
ラテン・アメリカとカリブ海域の非核化のための 条約に関する書簡交換	1997年6月10日	1997年5月22日署名
NPT とトラテロコ条約*に関する書簡の交換	1999年9月20日	1999年7月30日署名

(出典) <http://ola.iaea.org/ola/FactSheets/CountryDetails.asp?country=BR>

* トラテロコ条約 (ラテン・アメリカおよびカリブ海域非核化条約)。

世界初の非核地帯条約。署名 1967 年、発効 1968 年 (1990 年カリブ諸国参加で条約名改称)。

1962年のキューバ危機を契機に検討開始。1963年、中南米地域の非核化を求める国連決議を採択。その後メキシコが条約作成作業を主導、1967年2月に署名開放、1968年4月に発効した（中南米33か国すべてが締約国）。条約式が行われたメキシコ外務省の所在地名（Tlatelalco）から、トラテロルコ条約と呼ばれる。

締約国領域内における核兵器の実験・使用・製造・生産・取得・貯蔵・配備等を禁止。また核兵器国が域内での非核化義務違反行為を助長しないこと、締約国に対し核兵器の使用または威嚇を行わないことを規定。この条約はすべての核兵器国が批准済み。

- ・ブラジルは核不拡散条約（NPT）締約国、包括的保障措置協定締結国である。

http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kaku/npt/pdfs/npt_teiketsu.pdf

包括的核実験禁止条約（CTBT）では「発効要件国」という扱い区分にある。

<http://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000021240.pdf>

注）他の文献では、ブラジルは1998年7月13日にNPTもCTBTも批准したとなっている。

この「発効要件国」という言葉を含め、核不拡散や核軍縮に関する外務省のHPは難解でデータも古いものが多いが、唯一国際機関人事センターのコラムでは、「発効要件国」を次のようにわかりやすく解説している。

「CTBTの発効には、原子炉を有するなど、潜在的な核開発能力を有すると見られる特定の44か国（発効要件国）の批准が必要とされ、現在のところ、3か国（インド、パキスタン、北朝鮮）が未署名、5か国（中国、エジプト、イラン、イスラエル、米国）が未批准である」http://www.mofa-irc.go.jp/link/kikan_ctbto.html

- ・原子力平和利用目的の輸入核物質等の転用防止のための「原子力供給国グループ」（非核兵器国への適用ガイドライン「ロンドンガイドライン」を運用）にも、ブラジルは1996年に参加。

○ブラジルとアルゼンチン：

- ・第2次世界大戦後、双方の軍事政権が将来の武力衝突に備えて核兵器の開発をめざしたといわれるブラジルとアルゼンチンは、民主化の進展と信頼関係の醸成により、方針の変更を図った。

注）両国とも核兵器に転用可能なウラン濃縮技術を持っていた。ブラジル海軍は原子力潜水艦技術を研究していた。

- 1980年5月17日、両国は原子力平和利用協力のための政府間協定を締結
- 1990年11月28日、核兵器の生産と実験を禁じる共同宣言
- 1991年7月18日、「ブラジルーアルゼンチン核物質計量管理機関（ABACC）」の設立で合意（本部はリオデジャネイロ。ブエノスアイレスにも事務所）。これにより核兵器開発防止の相互監視体制を確立した。

http://www.abacc.org.br/?page_id=99&lang=en

- ・2008年12月、仏はブラジルへの（通常兵器搭載）原子力潜水艦建造技術の提供で合意。ブラジルは2020年の配備をめざしている。

（出典）「季刊国際貿易と投資」2011年秋の国際貿易投資研究所内多充氏「中南米の原子力発電と核外交」

<http://www.iti.or.jp/kikan85/85uchida.pdf#search='ABACC%E8%A8%AD%E7%AB%8B'>

<参考資料 1> ブラジルの原子力開発黎明期の西ドイツの協力

- ・西独・伯原子力協力協定の結ばれた 1975 年から 1984 年くらいまでの状況を示す古いデータながら、西ドイツがブラジルの原子力発電開発で、体制整備、原子力産業創出・育成、ファイナンス支援、民間・研究機関交流でどのような協力を果たしたのかがよくわかる資料なので収録する。

(出典) 1984 年 3 月 (社) 日本原子力産業協会誌刊「開発途上国と原子力先進国の原子力協力協定の内容とそれに基づく協力の実態に関する調査研究」

1) 協力の経緯

- ・ブラジルと西ドイツの科学技術協力協定は 1969 年 6 月 9 日に調印された。
この下で大学、民間研究機関、産業界同士の特別取極めが多く結ばれ、交流のネットワークが作られた。この協定は当初からエネルギー関係の研究と技術に重点が置かれていたが、ブラジルの国家長期エネルギー開発計画を策定するに当たり、西ドイツへ原子力導入の可能性検討での支援要請があった。
- ・とくに 1972 年にブラジル原子力技術社 (1975 年にブラジル原子力開発公社 NUCLEBRAS へと発展) から出された共同研究は核燃料サイクル開発と原子炉製造産業の関与増大、ブラジルの技術競争力の向上のための詳細マスタープランを作成して 1974 年に終了した。ブラジル政府はこれらの結果を同国の原子力計画に生かすことにしたが、「ブラジル自身が原子力発電所建設と核燃料サイクルに、適切な技術力と産業基盤をもたないでは、健全な利用が期待できない」とする西ドイツの勧告を受け、次のような目標設定を行った。
 - ④ウラン資源の確定
 - ⑤核燃料サイクルの全分野にわたり産業を創出
 - ⑥原子力発電所の主要コンポーネントの設計と製造
 - ⑦原子力発電所の設計・建設のための原子力技術の全面的移転の保証
 - ⑧現実的タイムスケジュールに従ってブラジルのエンジニアリング会社と産業の関与増大を確保
- ・ブラジルにとっての選択肢は、自主開発でこの目標を達成するか、いずれかの原子力先進国をパートナーとして選び、その国から大幅な協力を受けるかであった。
ブラジルはかつて重工業化を進める上で自主技術開発路線を志向して失敗した経験がある。このため、原子力開発では自主技術研究開発により技術蓄積を行うよりも、商業契約ベースの技術移転による方が現実的と判断した。

- ・ブラジルは1969年に同国初号原発のアングラ1号機の建設契約をWH（米）と交わしたが、（核燃料サイクルの全分野までを含む技術移転を提示し）官民挙げて熱心なアプローチを凶ってきた西ドイツの姿勢が、（ブラジル国民の伝統的な親独色や、自動車工業の育成で示した西ドイツの協力実績と相俟って）パートナーに西ドイツを選び、両国間の本格的な原子力協力が開始された。その際ブラジル政府は各国工業規格の違いによる混乱を防ぐため、西ドイツ一辺倒の極端な政策を打ち出した。
- ・1975年6月27日、ボンで両国間の原子力平和利用協力協定が締結された。同協定は、少なくとも8基の120万kW級発電炉に加え、核燃料サイクルの全施設について西ドイツが技術を提供し、15年後にブラジルの原子力産業の自立を達成させるというもので、世界の工業史上前例のない大型協力協定であった。

2) 原子力協力協定の内容

① 協力範囲

- ・ウランの採鉱・化学処理・マーケティング
- ・原子炉・その他の原子力施設・それらのコンポーネントのコンポーネント・製造
- ・ウラン濃縮
- ・核燃料要素製造
- ・使用済み燃料再処理
- ・その他の原子力平和利用の各分野

② 協力履行義務

両当事国が国内法規の制約下で必要な輸出許可発給を行う義務

③ 核不拡散・核物質物理的防護等の義務

両当事国の核兵器不拡散遂行、また対応する移転された核物質（あるいは移転された核物質・装置・技術の使用により発生した核物質）に対する国際的保障措置の規定、核物質・装置・技術の受領国から第三国への移転・再移転の規制規定、核物質・装置の物理的防護

注）1982年9月の原子力発電経験会議（IAEA主催）での西ドイツ研究技術省（BMFT）のローシュ氏論文によると、次のことが合意されている。

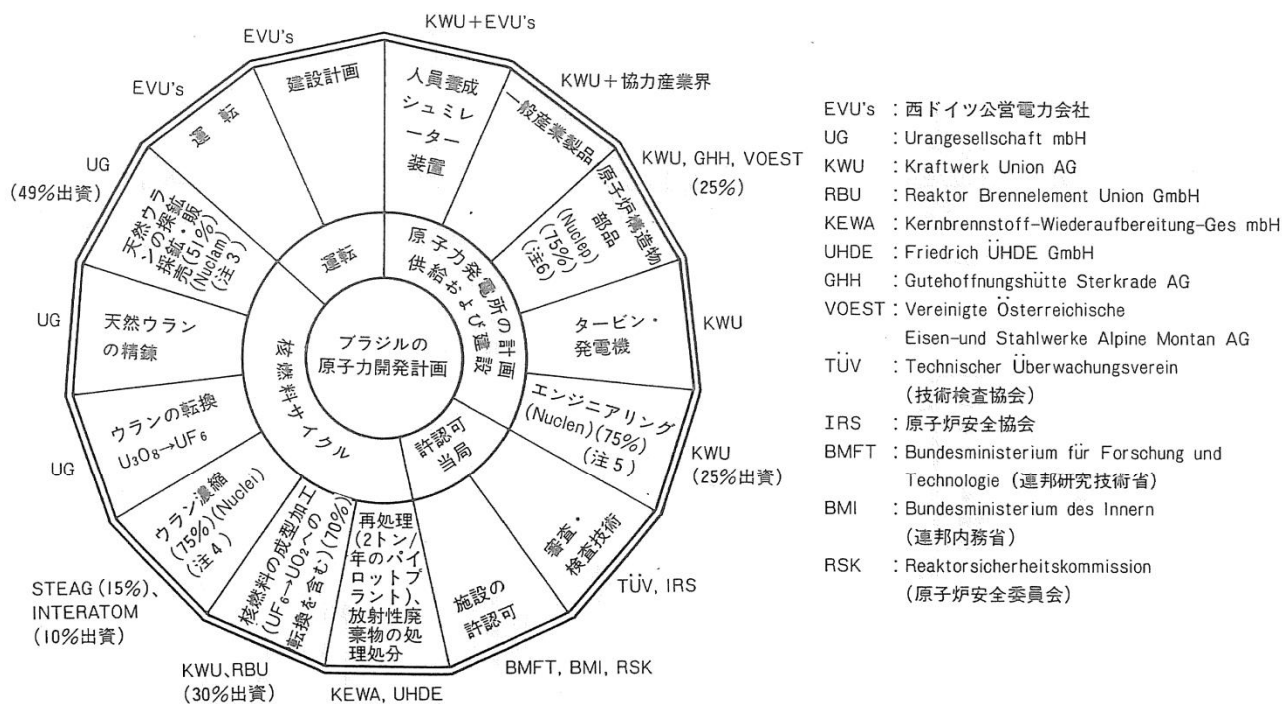
- ー 核不拡散条約（NPT）の第Ⅲ章第2パラグラフにいう核物質およびトリガー品目の移転は、移転された核物質（または移転されたトリガー品目の使用により発生または処理された核物質）にIAEAの保障措置が適用されること。

- 同 IAEA 保障措置は、核物質の存在する限り引き続き保障措置を適用するとしている IAEA ドキュメント GOV/1621 に含まれる一般的な規則・規制に一致すること。
- ブラジルへの移転情報はトリガー品目に属するものではあるが、この情報の使用により生産または処理されたブラジル国内の核物質にも保障措置が適用されること。
- 濃縮・再処理・重水生産を含む関連技術情報の移転後、ブラジルに建設されたすべての原子力施設および科学的または技術的に同一または本質的に似ている原理により運転されているすべての原子力施設は、西ドイツから移転された技術情報によるものとみなし、保障措置を適用すること。
- この協定に基づき、両国政府は IAEA と関連する保障措置協定を締結すること。
注) 三者間保障措置協定は、1976 年 2 月 26 日ウィーンで調印された。
- 協定が破棄される場合には、機材・燃料・ソフトウェアを含む全技術が使用できなくなること。

3) 原子力協力協定に基づく協力

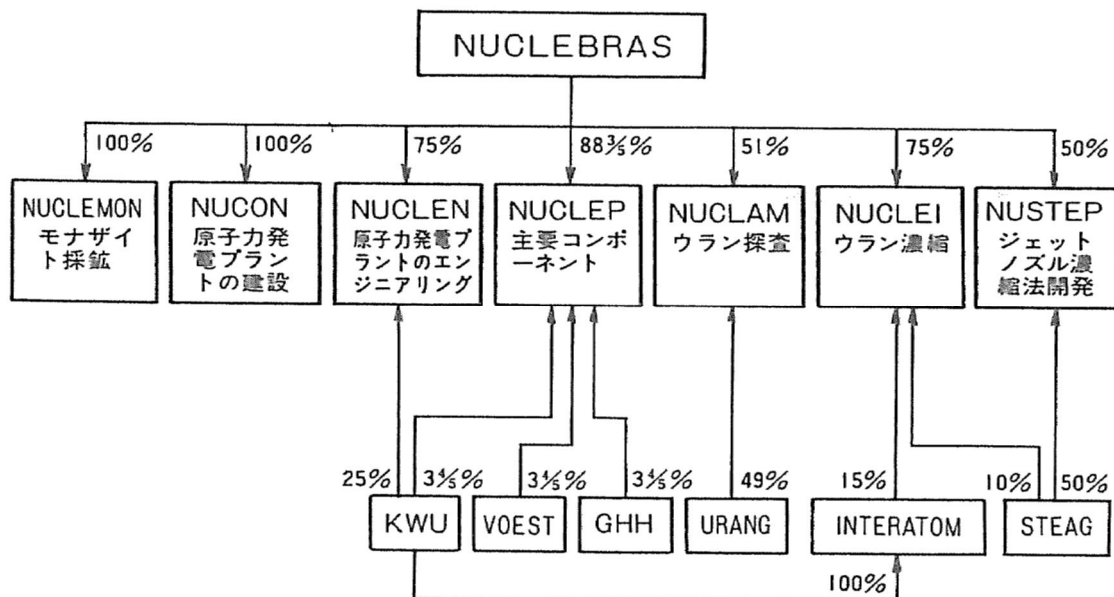
- 1975 年 6 月 26 日と 27 日、政府間原子力協力協定締結と時を同じくして、その協定を実施するため政府機関・研究機関・大学・産業界の間の特別取極めが多数締結された。
とくに中核となる西ドイツの研究技術省 (BMFT) とブラジルの鉱山・エネルギー省は、両国政府の権限と責任の範囲で行いいうる産業界への支援措置に関する特別ガイドライン等を規定した取極めを締結した。
- 西ドイツの対途上国原子力発電協力は「対等の立場に立つ協力であり、援助ではない」との考えを基本とするが、ブラジルとの協用に当たってはこれを徹底して、技術移転の受け皿となる中核機関の公的資金による創設を政府間協定に規定した。このためブラジル政府は、ブラジル原子力開発公社 (NUCLEBRAS) の設置を含む産業基盤の整備に 130 億ドルの政府資金を投入した (参考図表 1-1 参照)。
注) 当初その形でスタートした NUCLEBRAS 傘下の企業群は 1982 年 3 月の時点で、一部は参考図表 1-2 のように移行し始めた。
- 西ドイツの協用の特徴は、民間レベルで合弁企業を創り、その責任の下に相互に直接ライセンス契約やノウハウ移転、サービス供与、指導専門家派遣、ファイナンス等を取りまとめ、民間の活力と効率を生かす伏木を取っていることである。合弁企業の大半はブラジルに設置された。
この方式で 1982 年 1 月までに行われた産業界の主要な協力は参考図表 1-3 に概括されている。

参考図表 1-1 : 1975 年の伯独協力協定後のブラジルの原子力開発体制

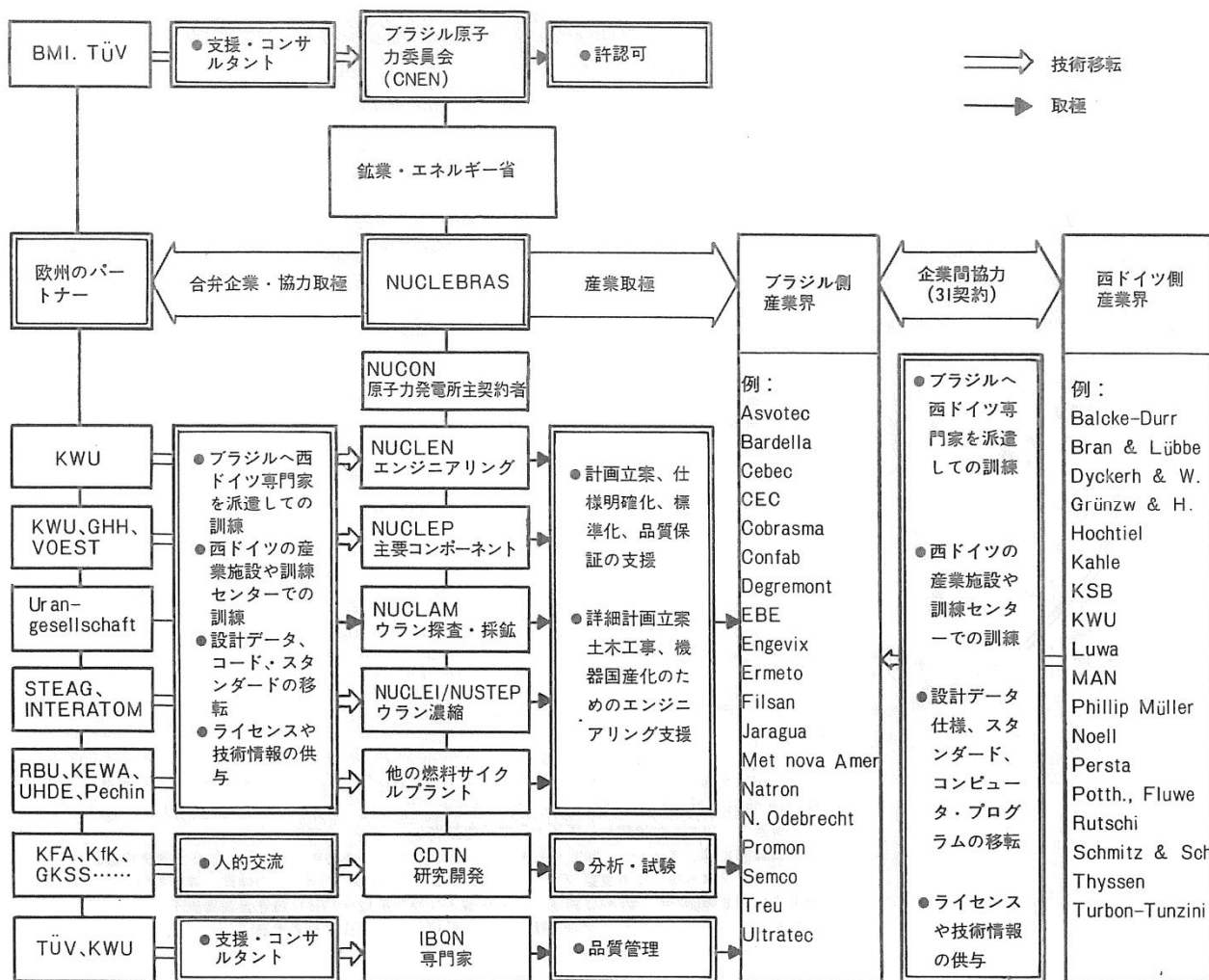


- 注 1) 上図の図形内側のカッコ内の%はブラジル側原子力公社 (NUCLEBRAS) からのその下部機構 Nuclen, Nuclenp, Nuclenl および Nuclam への出資比率。
 注 2) この他西ドイツの金融機関から原子力発電所建設資金についての融資も行われる。
 注 3) ウラン採鉱に際しては UG が 20% を引き取ることができる。1975 年 12 月 17 日に設立合意書調印。
 注 4) ジェット・ノズル法による実証プラント (1981 年までに 180 トン SWU) の建設・運転を担当。建設費総額 6 億 DM 中 1 億 DM は西ドイツから借入。1975 年 12 月 17 日に設立合意書調印。
 注 5) 1985 年までにエンジニアリング能力確立。1975 年 12 月 17 日に設立合意書調印。
 注 6) 1975 年 12 月 17 日に設立合意書調印。

参考図表 1-2 : NUCLEBRAS 傘下の企業グループ (1982 年 3 月ころ)



参考図表 1-3：西ドイツとブラジルの産業間協力の実績(1982年1月まで)



・人員の訓練はブラジル政府の最重要視したところであるが、政府間協定の枠組みで行われた実地訓練 (OJT) の実績を示す。

参考図表 1-4：西ドイツとブラジルの原子力協力協定に基づく OJT 実績 (1982年5月現在)

テーマ	ブラジル側パートナー	西ドイツ側パートナー	訓練実績 (人・年)
エンジニアリング 主要コンポーネント製造	NUCLEN	KWU	200 (予定では 300)
	NUCLEP	Gutehoffnungshütte (GHH) Vöest Alpine (VAL) KWU	120
燃料集合体製造 濃縮	NUCLEBRAS	KWU, RBU	120
	NUCLEI	Interatom, ユーリッヒ原子力研究所 STEAG	75
PRONUCLEAR 計画	大学・研究所	ユーリッヒ原子力研究所	100
		計	615

- ・このうち、ブラジルが省庁間で策定した PRONUCLEAR と呼ばれる計画に基づく人的交流計画は、ユーリッヒ研究所以外での訓練や専門家派遣協力も含むのでさらに細分化して示す。

- a. 研究機関での協力（1977 年～1981 年実績）

- － OJT 受入：214 名（1,200 人・月すなわち 100 人・年）
- － 専門家派遣：161 名（127 人・月）

- b. 産業界からの専門家派遣（1975 年～1982 年実績）

- － 250 名（数ヶ月から 5 年間と期間はまちまち）

- ・人材養成を加速するため、（西ドイツの協力で技能レベルを向上した人員が、ブラジル国内の要員養成を指導する「スノー・ボール・システム」と名付けた講師・テキスト交換促進計画も採用されている。

- ・協力の進展状況に応じ、全体のプログラムを見直すための両国合同運営委員会が、毎年 1 月にブラジルで開催されており、資金分担、研究員受入、専門家派遣、共同研究の細目を固めることになっている。

4) 原子炉導入のファイナンス支援

- ・ブラジル政府は原子力協定の中で、西ドイツからビブリス型 130 万 kW 急 PWR ×8 基の購入を約束した。

- ・これに基づく最初の 2 基分の建設費 42 億 7 千万ドイツマルク (DM) については、西ドイツは 1976 年 7 月次のコンソシヤムを組んで対応した。

- a. 西ドイツ政府の復興金融公庫 (KfW) :

- 18 億 5 千万 DM。融資期間 20 年。年利 7.5%。

- b. ドレスデン銀行を中心とする 30 の市中銀行グループ :

- 18 億 5 千万 DM。融資期間 20 年。年利不明。

- c. ルクセンヴォルゲオイゼ銀行を中心とする西ドイツ系銀行の欧州支店グループ :

- 5 億 7 千万 DM。融資期間 8 年。年利不明。

このファイナンスは決してソフトローンとはいえなかったが、官民一体となって迅速に大型ファイナンスを組んだことが注目される。

なおこのファイナンスでは、連邦保有の輸出保険会社であるヘルメス・クレジット社が穏やかな条件でローン保証を行ったことが奏功したといわれている。

5) ジェット・ノズル濃縮法研究開発

- ・ 政府間の原子力協力協定に基づく協力中、研究関係レベルでの対ブラジル協力の西ドイツ側窓口はユーリッヒ原子力研究所（KFA）であるが、ジェット・ノズル濃縮法開発②に関しては、ブラジル原子力委員会（CNEN）との実務取極めによりカールスルーエ原子力研究センター（KfK）が担当している。

注）これは核拡散上のセンシティブ技術であることから、十分な保障措置をかけて協力するための特別な措置とされる。

これに基づき KfK にはブラジル人研究者十数人が常駐し、共同で3つのスケールの原型プラントの研究開発を行っている。

協力費用は双方が負担しあうことになっているが、KfK 専門家のブラジルへの派遣では、旅費は KfK、その 10 倍以上になる給与は西ドイツ政府、日当はブラジル側が負担することになっており、建前上は「双方で負担」の原則は崩してはいないものの、実質的には援助に近い運用となっている。

<参考資料 2 >

ブラジルと西ドイツの 1980 年代初めの原子力協力関係の協定・取極め

- 1980 年代の西ドイツの対途上国原子力協力では、次のような特徴が見られた。
 - － 援助的な色彩を弱め、対等の立場での協力を建前とした。これは途上国にも、運転能力のみならず、保守や核燃料サイクルまでの手当てを含む自立を求め、そのために最大限の努力を促した。
 - － 国際協力は科学技術協力政策の一環として組み込まれ、原子力発電分野の協力の大半が科学技術協力の中で行われた。
 - － 核不拡散では、「核兵器国と非核兵器国を原子力平和利用で差別することは認めない」と、「核不拡散遂行には最大の努力をする」ことを前面に押し出した。このため非 NPT 国とも原子力平和利用のための規制受入を条件に原子力協力を行った（「保障措置」との表現はほとんど使わなかった）。NPT 成立以前に原子力協力協定を締結したブラジルに対しても、IAEA を加えての三者間協定を新たに要求し、ブラジルの同意を得て「NPT 加盟国と同等な保障措置」をかけた。

「(米国のように) 厳格な形式を要求して反発され、規制が及ばなくなるよりも、実質的に NPT 加盟国と同等の規制を受け入れてもらう方が重要」との基本的認識を持っていた。
 - － このため、西ドイツの原子力協力協定の基本パターンは禁止条項や制限条項をほとんど含まず、「原子力平和利用遵守」を原則確認程度に書いておき、その具体的実行は協力の進展に応じて、次の段階に移行するには個々の実務取極めを必要とするやり方をとった。
 - － ユーリッヒ原子力研究所 (KFA) とカールスルーエ原子力研究所 (KFK) に協力相手国を割り当てる方式をとった。

1) 親協定

- ブラジルと西ドイツの科学研究および技術開発に関する協力協定
1969 年 6 月 9 日署名 同 8 月 12 日発効
- ブラジルと西ドイツの原子力平和利用協力協定
1975 年 6 月 27 日署名 同 11 月 18 日発効

2) パートナー機関協定：

- ①ブラジル原子力委員会 (CNEN) とユーリッヒ原子力研究所 (KFA)：
原子力研究および技術。1971 年 4 月 23 日署名・発効
- ②DFVLR と CTA (ともに略称のみ判明)：

- 航空宇宙研究：1971年11月18日発効
- ②国家科学技術開発審議会（CNPq）とKFA：
（原子力・宇宙・数学・データ処理以外の）科学技術協力。
1971年11月19日署名・発効
- ③CBTN（略称のみ判明）とKFA：
原子力研究および原子力技術開発。1973年10月3日署名
- ④CNPqとGMD（略称のみ判明）：
数学・データ処理。1974年7月24日発効
- ⑤CNPqとDAAD（略称のみ判明）：
研究作業のための優秀科学者交換。1976年8月8日発効
- ⑥ブラジル海洋省水路・航海局と海洋船舶研究所：
海洋研究。1976年10月1日署名
- ⑦ブラジル原子力開発公社（NUCLEBRAS）とKFK：
原子力研究。1976年10月1日署名
- ⑧CNENとKFK：
原子力平和利用。1978年3月8日署名
- ⑨産業技術商業省産業局とKFA：
工業技術。1978年3月8日署名
- ⑩NUCLEBRASとKFA/KWU：
高温ガス炉および軽水炉。1978年3月8日署名
- ⑪工業技術局（STI）とKFA：
－ 工業化技術協力：1978年3月8日署名
- ⑫NUCLEBRASとKFA：
PWRでのトリウム利用。1979年3月20日署名
- ⑬CAEEB（略称のみ判明）とKFA：
石炭利用およびシステム分析。1981年12月11日
- 3)プロジェクト協力協定：
・KFA-STI-Maniok（ともに略称のみ判明）間の協定：1982年2月17日発効

以上