

中国

天生橋第一水力発電事業(1)～(4)

外部評価者：三島 光恵 (オーバ-シーズ・プロジェクト・マネージメント・コンサルタンツ(株))

現地調査：2004年9月

1. 事業の概要と円借款による協力



事業地域の位置図

(発電所：貴州省安龍県と広西チワン族自治区降林県の境。送電線は天生橋から広東省広州市まで。詳細地図は図1参照)



天生橋第一水力発電所

1.1 背景：

中国の1980年代の発電電力量の推移は年平均7.5%の伸びで、特に後半5年間をみると年平均8.5%となっていた。91年4月に採択された「国民経済社会開発10カ年計画」「第八次5カ年計画」では、発電電力量を91～95年の間で年平均5.6%、96～2000年の間で年平均6.3%増加させることを目標としていた。

深圳、珠海、汕頭の3経済特区、および広州、湛江の2沿岸開放都市を擁する広東省の電力需要は80年代に年平均12.0%で伸び、その後も経済成長に伴う電力需要の伸びが予測されていたが、供給能力が限られていた。

また、同省の電源構成は火力が約83.9%（水力約16%）を占め、そのうちの大半が石炭火力であるが、石炭の73%は他省に頼っており、将来にわたって石炭資源の確保、船積港の船積能力、同省における荷揚港の確保に不安を残していた。

中国政府は、石炭火力発電に代わって南部の豊富な水力資源を利用した水力発電施設の拡充をめざし、主要河川の一つである紅水河を開発すべく「紅水河総合利用計画」を策定した。同計画では、本事業を含め10発電所（計11,120MW）を建設することになった。本事業は広東省外からの電力供給源として、また、紅水河の最上流に位置しており、下流に位置する他の水力発電所（天生橋第二発電所等）への発電安定にも貢献することから重要なものであった。

1.2 目的：

広西チワン族自治区および貴州省において、1,200MW(300MW×4基)の水力発電所および送電線を建設することにより、広東省、広西チワン族自治区への電力供給

量の増加を図り、もって同地域の電力需給の安定化および地域経済成長に寄与する。

### 1.3 借入人 / 実施機関 :

中華人民共和国政府 / 中華人民共和国エネルギー部 (当時)

### 1.4 借款契約概要 :

案件名	(1)	(2)	(3)	(4)
円借款承諾額 / 実行額	43 億 6,700 万円 / 40 億 6,300 万円	66 億 8,300 万円 / 61 億 7,500 万円	166 億 4,700 万円 / 154 億 6,200 万円	129 億 300 万円 / 112 億 2,300 万円
交換公文締結 / 借款契約調印	1991 年 9 月 / 1991 年 10 月	1992 年 10 月 / 1992 年 10 月	1993 年 8 月 / 1993 年 8 月	1995 年 1 月 / 1995 年 1 月
借款契約条件	金利 2.6% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 一般アンタイド	金利 2.6% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 一般アンタイド	金利 2.6% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 一般アンタイド	金利 2.6% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 一般アンタイド
貸付完了	2000 年 11 月	1999 年 11 月	2000 年 9 月	2004 年 2 月
本体契約	South China Hydropower Construction Association、 Siemens A. G. GFR			
コンサルタント契約	Teshmont Consultants Inc.、 電源開発・日本工営			
事業化調査 (ファイナリティ・スタディ: F/S) 等	84 年 F/S (中国政府) 86 年 基本設計 (中国政府)			

## 2 . 評価結果

### 2.1 妥当性

#### 2.1.1 審査時の妥当性

第八次 5 年計画 (1991 ~ 95 年) において、90 年代後半の事業対象地域 (広東省、広西チワン族自治区) の電力需要の平均伸び率は 8.4% と中国全体の 6.3% を上回る事が予測され、かかる需要予測に見合う積極的な電源開発が掲げられていた。かかる状況下、特に深刻な電力不足が予測されていた広東省では、水力発電は 16% にすぎず、大半を占める石炭火力は将来的な石炭資源確保に不安があったため、省外から電力供給を受けることが重要な課題であった。本事業は、広西チワン族自治区および貴州省の境に位置する紅水河に出力 1,200MW のダム式水力発電所を建設し、広東省への送電を可能とするものであり、審査時の優先順位が高かった。

### 2.1.2 事後評価時点の妥当性

第十次 5 力年計画（2001～05 年）において、中国全体の電力需要の平均伸び率が 5%と予測されているなか、本事業発電所の発電電力量の約 85%が供給される広東省においては、広東省エネルギー開発第十次 5 力年計画の予測（10-15 年）で電力消費量が年平均 5%以上伸びることが予測されていることから、今後も安定的な電力の確保が重要課題である。かかる状況下、現在においても同省の電源構成は火力への依存度が高く（全体の 70.3%、水力 21.6%）、同省の電源構成のみでは必要な電力を賄えないことから、引き続き省外からの安定した受電が不可欠である。そのため、本事業を含む西電東送計画<sup>1</sup>が重視されており、中国西部から広東省への送電能力を増加する計画（第十次 5 力年計画期間中 01～05 年）が現在進められている。本事業は西電東送計画をいち早く実施したものであり、引き続き優先度が高い。

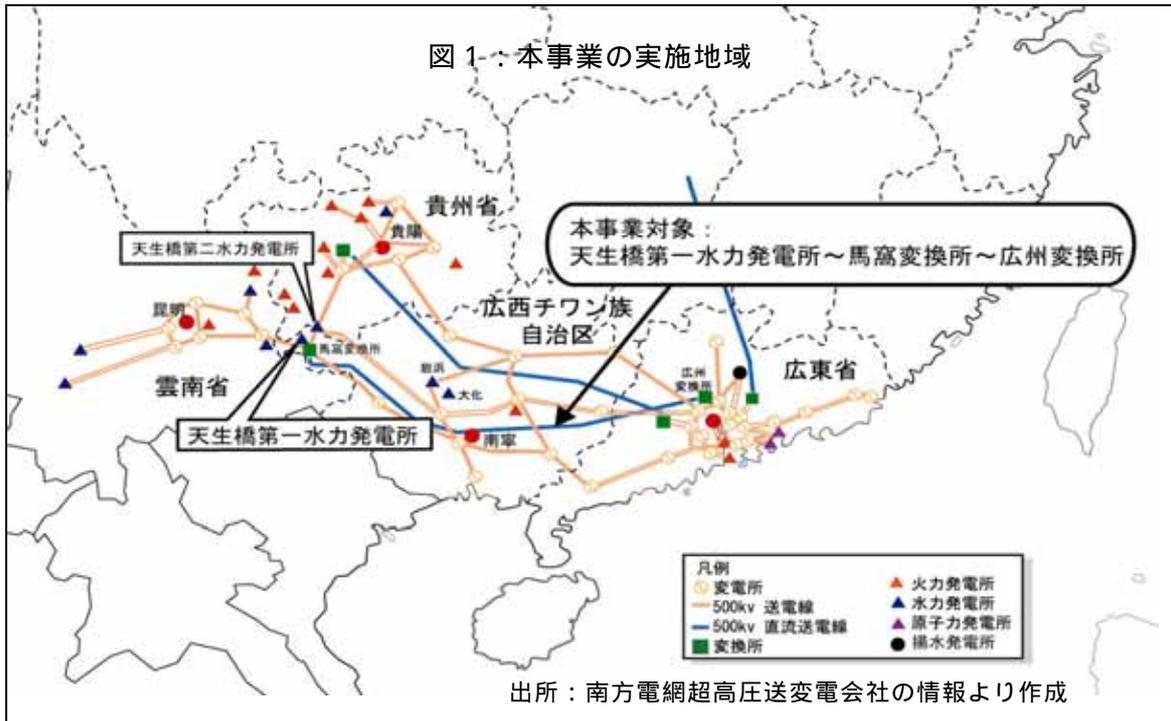
## 2.2 効率性

### 2.2.1 アウトプット

審査時に計画されたアウトプットは下表のとおりほぼ計画通り達成された。なお、直流送電は長距離になるほど、建設費が安価になる効果が増大し、また、送電効率も高くなるなどの利点があるため、変換所の設置箇所を江門から広州に変更し、送電巨長を延長した。

計 画	実 績
1. 1,200MWのダム式水力発電所建設 2. 送電線延長 934km 3. 交流・直流変換所 2 力所 （馬窩および江門変換所）	1. 同左 2. 送電線延長 984km 3. 交流・直流変換所 2 力所 （馬窩および広州門変換所）

<sup>1</sup> 中国西部で電源開発し、東に送電する計画。国家重点プロジェクトとして位置づけられる。



## 2.2.2 期間

審査時計画の全体工期（借款契約（L/A）調印から起算）は 1991 年 10 月～99 年 12 月までの 98 カ月だったが、実際は 91 年 10 月～2001 年 6 月までの 116 カ月（当初計画の 118%）を要した。工期遅延の要因は、複雑な地質条件によるダム土木工事の遅延、および送電線の一部設備の再入札による工事開始の遅延である。

## 2.2.3 事業費

総事業費は審査時計画 1,696 億 5,000 万円に対し、ほぼ計画通りの 1,909 億 6,300 万円であった。

## 2.3 有効性

### 2.3.1 発電・送電量

2000 年末に全発電機の運用を開始して以来、発電所の発電量は 01 年 5,114GWh/年、02 年 5,212GWh/年と計画値 5,226GWh/年<sup>2</sup>に近い数値を達成した(図 2)。また、利用率は約 45～50%程度<sup>3</sup>、稼働率も約 80～90%となっており、運用上の問題なく発電所は稼働している(表 1)。また、01 年 6 月に送電線および変換所が完成して以来、送電ロス率は 6.5%（03 年実績、参考：日本の送電ロス率：5.5%）を維持

<sup>2</sup> 中国側で作成した基本設計にて計算されている数値。利用率 49.7%の発電量が想定されている。

<sup>3</sup> 日本の水力発電所は一般的に 45～60%の範囲。

している。ただし、03年の発電量は湧水による貯水池の水量不足<sup>4</sup>のため4,645GWh/年となっており、04年度も湧水の影響で発電量が減少しており、今後の動向に留意する必要がある。

図 2：天生橋第一発電所発電量

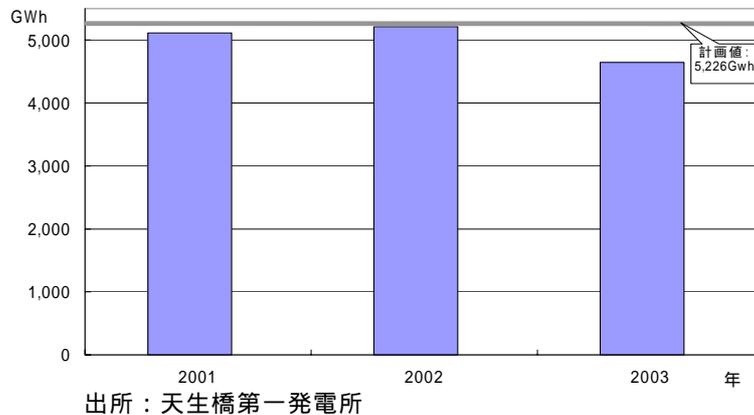


表 1：天生橋第一発電所利用率・稼働率

年	2001	2002	2003
利用率 <sup>1)</sup> (%)	48.6%	49.6%	44.5%
稼働率 <sup>2)</sup> (%)	-	85.5%	78.4%

出所：天生橋第一発電所

注 1)：= 年間発電量実績(MWh) / 年間フルに運転できた想定した可能発電量 (1,200MW × 24 時間 × 365 日) (MWh)

注 2)：= 年間総運転時間実績(h) / 年間フルに運転できた想定した運転時間 (24 時間 × 365 日) (h)

### 2.3.2 財務的および経済的内部収益率

審査時に財務的内部収益率 (FIRR) は計算されていなかったが、前提を下記のとおり設定し、実績値を用いて再計算したところ 6.7%となった。経済的内部収益率 (EIRR) については、審査時に 8.1%と計算されていたが、今次評価時に同様の前提で再計算したところ、代替の石炭火力発電所コスト増により 12.7%となった。

( FIRR 再計算の前提 )

プロジェクトライフ：事業完成から 50 年間

便益：売電収入

費用：本事業投資費用 + 維持管理費用 + 税金

( EIRR 再計算 )

<sup>4</sup> 2002 年の貯水池への年間総流入量は 192.17 億 m<sup>3</sup>であったのが、2003 年には 160.72 億 m<sup>3</sup>となっている。

プロジェクトライフ：事業完成から 50 年間

便益：代替法石炭火力建設費用 + 石炭燃料費 + 維持管理費用

費用：本事業投資費用 + 天生橋第 2 期の建設費用 + 維持管理費用

## 2.4 インパクト

### 2.4.1 電力需給逼迫の緩和

広東省および広西チワン族自治区では、増加する電力需要に備え、表 2 にみられるように発電設備を増強し発電量を継続的に増量してきた（表 3）。本事業による発電量の約 85%は広東省、残り約 15%は広西チワン族自治区へ供給されており、2000～02 年の各省の全電力供給量における本事業発電所の貢献度は、広東省約 2～3%、広西チワン族自治区約 2%である<sup>5</sup>。また、下流発電所の渇水期の発電量増加にも貢献した<sup>6</sup>ことを考えると近年電力不足が続く同省への需給逼迫の緩和に貢献をしたといえる。

表 2：広東省と広西チワン族自治区の発電設備および発電電力量

項目	発電設備（万 kw）			発電電力量（億 kwh）			
	広東	広西	合計	広東	広西	合計	
1995年	全電源	2,272	558	2,830	821	217	1,038
	水力	466(21%)	340(61%)	1,408(37%)	131(16%)	138(64%)	500(34%)
1999年	全電源	3,033	635	3,668	1,140	253	1,393
	水力	655(22%)	402(63%)	1,756(35%)	111(10%)	154(61%)	530(27%)
2000年	全電源	3,190	742	3,932	1,353	289	1,642
	水力	702(22%)	416(56%)	1,849(35%)	156(12%)	169(58%)	632(28%)
2001年	全電源	3,360	734	4,094	1,433	297	1,730
	水力	730(22%)	424(58%)	1,895(34%)	191(13%)	179(60%)	682(28%)
2002年	全電源	3,587	752	4,339	1,610	317	1,927
	水力	778(22%)	436(58%)	2,041(34%)	169(10%)	186(59%)	701(25%)
1995～2000年 年平均増加率	7%	6%	7%	11%	6%	10%	
2000～01年増加率	5%	-1%	4%	6%	3%	5%	
2001～02年増加率	7%	2%	6%	12%	7%	11%	

出所：中国電力年鑑 1995～2003 年

注：括弧内の数値は全体からの割合。

<sup>5</sup> 本事業による主な受益地の人口は広東省約 238 万人、広西チワン族自治区約 97 万人。

<sup>6</sup> 「中国水力発電年鑑（第 7 巻）」によると下流の天生橋第二発電所、岩灘、大化発電所等で本事業による効果として、本事業がない場合を比較して 1.69 倍の出力が確保されるという。渇水期と増水期の発電量の差が縮小して安定した発電が可能になり、ピーク時の調整能力も向上し、年間発電量の 73% が保証されることが述べられている。

表3：広東省と広西チワン族自治区の電力消費量

年	広東	広西	合計
1995	640	202	842
1999	952	252	1,204
2000	1,160	281	1,441
2001	1,283	291	1,574
2002	1,638	311	1,949
1995～2000年 年平均増加率	13%	7%	11%
2000～01増加率	11%	4%	9%
2001～02増加率	28%	7%	24%

出所：中国電力年鑑 1996～2003年

#### 2.4.2 経済活動への貢献

広東省のGRDP実質成長率は2000年以降毎年10%以上、広西チワン族自治区は03年10.2%となっており、中国全体の数値を上回っており<sup>7</sup>、本事業は電力不足の緩和を通じて事業効果対象地域における経済活動を下支えしたことになる<sup>8</sup>。

#### 2.4.3 環境・社会面でのインパクト

自然環境については、審査時に環境影響評価が行われ、そのなかで、野生生物、水質・水温、歴史的文化的遺産等への影響について調査・検討が行われていた。事業完成後に実施された2004年3月の国家環境保護総局の検査においては、「環境影響評価報告書およびその認可書類で要求した目標が実現しており、合格」とされており、現地調査にて、耕地の回復、歴史的建築物の移築等が確認できた。

住民移転については表4のとおりとなった。審査時計画では1998年までに移転が完了する予定であったが、工事の進捗の遅れやダムの上水時（99年）に発生した地すべりの影響区域住民についても移転対象となったことにより、実際は03年まで時間を要した。移転住民数が当初計画の約4万5,000人から約5万7,000人へ増加した理由は、92年～96年にかけて実施された計画再確認調査の結果を踏まえたこと、および既述の地すべりによる影響区域の住民移転も追加されたことによる<sup>9</sup>。

なお、移民全体の約5割を占める貴州省をケースとし、移転住民の現況を確認すべく移民局<sup>10</sup>へのインタビュー、住民移転先視察と住民への簡易インタビューを

<sup>7</sup> 全国のGRDP実質成長率は、2000年8.0%、2001年7.5%、2002年8.3%、2003年9.1%。

<sup>8</sup> 南方電網会社によると、この間、負荷中心部の珠江三角州地区(広東省南部の工場が集中している地域。深川、広州、肇慶、珠海、澳門、香港等が含まれる)の加工業に対する外国投資(台湾からの電子産業等)により経済活動が活発化しており、特に電力需要が高くなった時期であったという。

<sup>9</sup> 住民への補償金額は当初(1989年)4.6億元であったが、その後1997年に移民の実施状況や基本設計の見直しを行った結果、22.5億元へと増加した。その後、地すべりの影響区域の住民の追加で、結果として合計で25億元となった。

<sup>10</sup> 貴州省黔西南布依族・苗族自治州移民局および移転先の興義市移民局と安龍県移民局

行った。簡易インタビューでは、興義市の移転地 2 カ所、安龍県の移転地 1 カ所にて、計 6 人を対象に行った。簡易インタビューの結果、どの移転住民も移転前後で生活環境・水準が改善し、移転手続き・内容的に満足している、との回答を得た。いずれも移転前の居住地から、より市街地への移転であったため、交通の便が改善、移転地での基礎インフラの充実、住宅構造の改善(木レンガ)、農業以外の雇用機会増、により生活環境が改善した、との意見であった。少数民族ではあるが、すでに習慣的には周辺とほとんど融合していること、また市内あるいは県内の移転であったので、大幅な生活環境の変化が特にならない様子であった。今次調査範囲は限られているものの、調査の結果、移転者が特に不利益を被ったという報告はなかった<sup>11</sup>。

表 4：省別用地取得および移転住民数（計画と実績）

省名	項目	計画	実績 <sup>(1)</sup>
広西	用地取得 (ha)	7,520	5,882
	移転住民数 (人)	20,543	24,511
貴州	用地取得 (ha)	7,445	5,991
	移転住民数 (人)	21,947	28,460
雲南	用地取得 (ha)	1,160	860
	移転住民数 (人)	2,215	4,034
合計	用地取得 (ha)	16,125	12,733
	移転住民数 (人)	44,705	57,005

出所：計画数は中国南方会社（1994年審査当時）、実績は天生橋第一水力発電会社による。

注：1)2003年3月末時点の数値。現地調査時点（2004年9月）では住民移転実施について中央政府による正式な検査・認定が終了していなかったため、広西、雲南、貴州の移民部門の正式な実績統計が得られなかった。追加の住民移転部分については国家開発計画委員会2002年の「天生橋第一級発電事業危険区域および後期支援に関する認可書類」に従って、住民移転が実施された。

## 2.5 持続性

### 2.5.1 実施機関

#### 2.5.1.1 技術

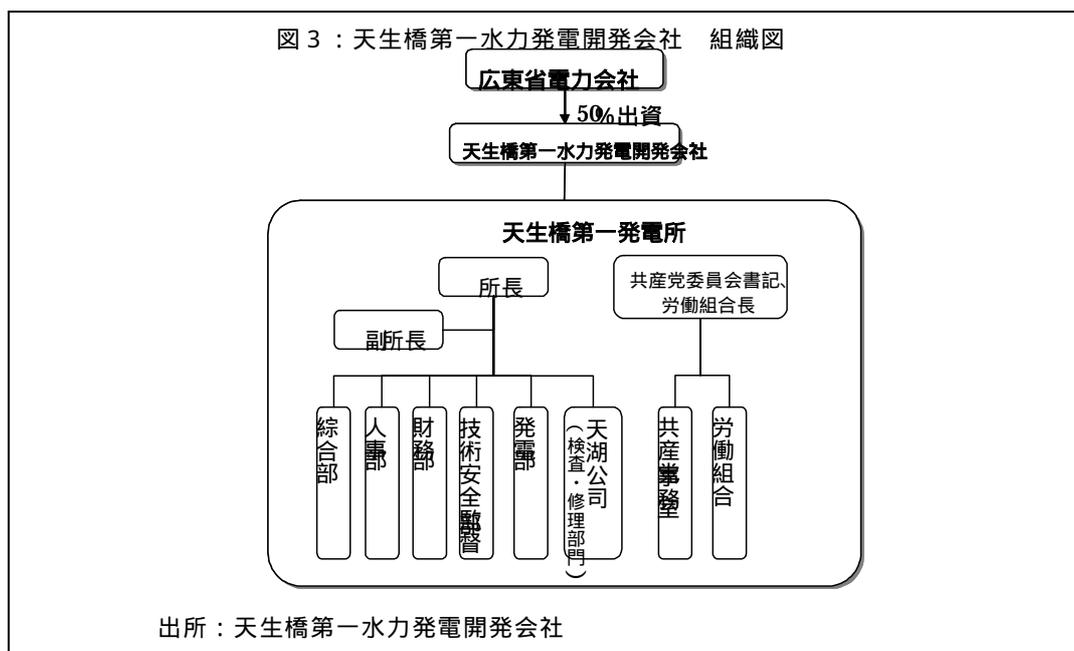
毎年、両組織とも年度始めに策定する研修計画に沿って職員に対し研修が実施され、各職場責任者は試験によって資格を与えられた職員が配置され、特殊技術担当者（溶接、計器検査、クレーン等）も試験によって技術レベルが確認されている。また、毎年職員全体に対して業務評価、加えて維持管理担当者に関しては技術評価を行い、技術能力不足と判断された職員に対しては職場から離れてトレーニングを実施し、試験合格後職場へ復帰するシステムを設けている。

<sup>11</sup> 1997年7～8月に一部の住民の反対があった点につき、黔西南（布依族・苗族）自治州移民局へ質問したところ、補償金の金額を見直し、追加補償を行って対策を講じてからは特に不満の声はあがっていないとのことであった。

### 2.5.1.2 体制

運営維持管理担当部門については、国家電力会社の一連の組織改革<sup>12</sup>がほぼ完了し、十分な人員配置と組織の効率化が図られており、本事業の維持管理運営上問題ない体制である。

現在、発電と送電は、中国全国で推進している分離政策により、別組織となっている。本事業で建設された天生橋第一発電所を所有、運営維持管理しているのは、天生橋第一水力発電開発会社（1999年創設）送電線の所有、運営維持管理を担当しているのは超高压送変電会社<sup>13</sup>（2003年創設）である。天生橋第一水力発電開発会社は、図3に示すように総務部、人事部、財務部、技術安全監督部、発電部があり、工事のための財務管理、施設の運営維持管理、売電、ダム住民移転、生産安全管理等をそれぞれ行っている。発電部門の人員は67人、検査・修理を担当している天湖会社は112人で、そのうち約80人が発電所の維持管理を担当している。

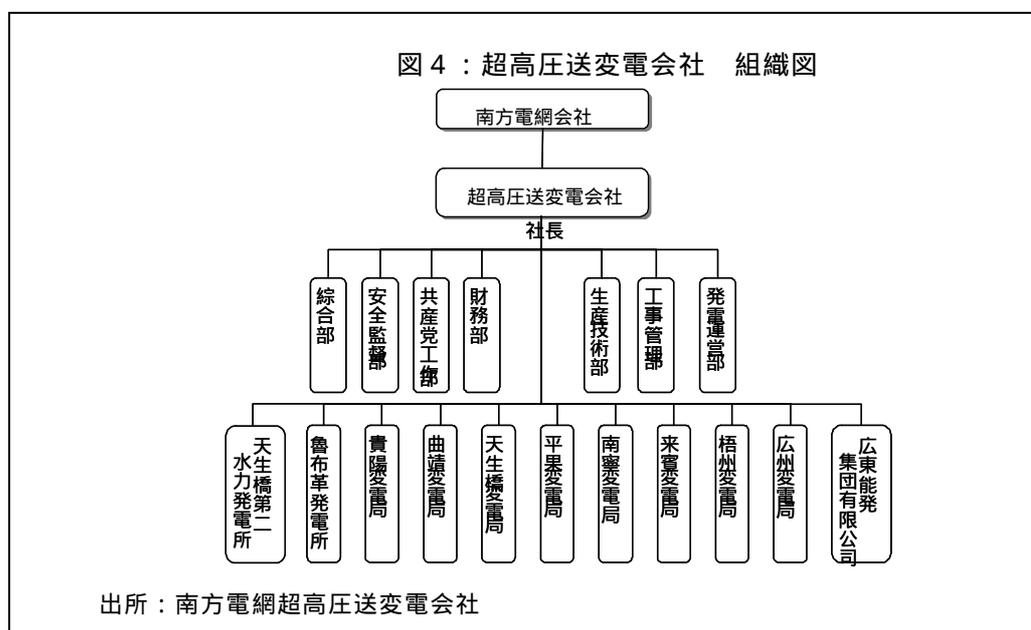


超高压送変電会社は図4に示すように、本部に総務部、人事部、財務部、生産技術部、安全監督部、工事管理部、発電運営部、共産党工作部と7つの部門が設置されており、変電局8カ所と、発電所2カ所（天生橋第二水力発電所、魯布革発電所：設備容量1,920MW）を所有・運営管理している（全部で約1,600人の職

<sup>12</sup> 中国の電力事業は中央政府によって一元管理されてきたが、1997年に国家電力会社を設立し、同社が電力工業部から企業経営機能を引き継ぎ、発電資産と送電資産を所有し事業経営をしていた。2002年4月の電力体制改革以降、さらに発電部門と送電部門の経営は分離され、現在は複数の事業体が経営。

<sup>13</sup> 超高压送変電会社は、南方会社（国家電力会社の傘下にある一社）の事業（「西電東送」事業を含む）を大部分受け継ぎ、中国南方における省間の幹線送電網等を建設、運営維持管理するとともに、天生橋第二水力発電所等の運営・維持管理も担当している。

員)。また、同社は先進的な技術を採用しており、100kmあたりの維持管理担当職員数は2人と中国標準値(3人/100km)よりも少ない人数で効率的に運営している。



### 2.5.1.3 財務

財務諸表については、天生橋第一水力発電開発会社、超高压送变电会社ともに提出されなかった。ただし、天生橋第一水力発電開発会社に関しては、同組織から得られた「売電収入 売電費用」<sup>14</sup>の数値によると2002年以降黒字となっている(表5)。また、中国電力年鑑(03)によると、現組織になる前の02年の国家南方電網会社全体の経営状況は適切であり、財務管理の強化を図っていると肯定的な評価であった。以上の点から、財務面に特段の問題はないとみられる。

表5：天生橋第一水力発電所の収支 (単位：万元)

	2001年	2002年	2003年
売電収入	63,069	98,185	92,561
売電費用 <sup>注</sup>	65,393	90,950	87,351

出所：天生橋第一水力発電株式会社

注：発電所の運営維持管理費の他、減価償却費、借入れ返済金、税金を含んだ合計。

### 2.5.2 維持管理

発電所・送電線ともに事故の報告はなく、現在は維持管理に関して良好な状況

<sup>14</sup> 天生橋第一水力発電会社が超高压送变电会社に対し直接売電を行っている。

といえる。発電所の事業完成時の報告によると、運用開始直後に数力所における小規模の漏水等の問題が指摘されていたが、現況を確認したところ、それに対し検査・修理および補強措置が施され、問題が解決されたということであった。発電所では日常の維持管理の他、定期的な点検を年1回、オーバーホールは完成後1年目に実施、今後は6～8年目に1回の頻度で行われる予定である。

### 3. フィードバック事項

#### 3.1 教訓

なし

#### 3.2 提言

なし

## 主要計画 / 実績比較

項 目	計 画	実 績
アウトプット 1) 300MW 級×4 系列の水 力発電所建設  2) 送電線建設  3) コンサルティングサービス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダム、貯水池（コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム）</li> <li>・発電所 屋外式</li> <li>・設備容量 1,200MW( 300MW ×4 基 )</li> <li>・取水塔、導水路、水圧管路、スイッチヤード等</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・送電線延長 934 k m</li> <li>・交流・直流交換所 2 カ所 ( 各交換容量 1,800MW )</li> </ul> 419M/M	同左   送電線延長984km   334M/M
期間	1991年10月～1999年12月 ( 98カ月 )	1991年10月～2001年6月 ( 116カ月 )
事業費 外貨 内貨  合計 うち JBIC 分 換算レート	406億円 1,290億5,000万円 (49億2,557万円) 1,696億5,000万円 406億円 1US\$=137円、1元=26.2円 (1991年6月レート)	369億2,300万円 1,540億4,000万円 (103億1749万円) 1,909億6,300万円 369億2,300万円 1元=14.93円 (1991年～2001年加重平均レート)