

ブラジルにおける超電導送電等
高効率送電技術導入検討のための
情報収集・確認調査
ファイナルレポート
(要約版)

2017年1月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

四国電力株式会社
古河電気工業株式会社
株式会社前川製作所

中南
JR
16-048

目 次

第 1 章 調査概要	1
1.1 目的と背景	1
1.2 成果	1
第 2 章 超伝導送配電技術の開発状況	2
2.1 日本の開発状況	2
2.2 世界の開発状況	2
第 3 章 超電導ケーブル導入までのロードマップ	4
第 4 章 R&D プロジェクトの提案	6
4.1 目的	6
4.2 概要	6
4.3 装置・設備とスケジュール	6
4.4 予算と実施体制	8
第 5 章 パイロットプラントのケーススタディ	9
5.1 目的	9
5.2 送電会社からの実証候補地	9
5.3 実証候補地における概念設計（予算を含む）	10
5.4 実施体制	11
第 6 章 今後の展開	12
アネックス	13
資料 1 パイロットプラントの実施候補地における設計図	
資料 2 パイロットプラントの実施候補地における仕様とコスト検討結果（まとめ）	

第1章 調査概要

1.1 目的と背景

超電導ケーブルは、高効率で大電流通電を可能とし、同じサイズの場合、従来のケーブルに比べて、3～9 倍の送電性能を有する。従来のケーブルよりコンパクトである上、熱や磁場が発生しないため、地下や地役権が設定された土地の有効活用の可能性が高まる。

日本が有する超電導送電技術は、世界トップレベルであり（あらゆる関連技術を網羅）、次世代送電技術として大きく期待されている。日本では、送配電ロスを低減するために、これまで様々な方策がとられてきたが、中でも超電導送電技術は、1980 年代後半から電力会社を中心に研究開発が進められ、現在、実証段階を経て実用段階に近い状況まで来ている。しかしながら日本では、国内の送電線ネットワークは既に構築され、将来大きな電力需要も見込まれないことから、今後、新規の送電線建設も計画されていない。そのため、本技術を日本国内の電力システムに応用する機会に恵まれない状況にある。

一方で、ブラジルは、日本の約 22 倍の国土面積を有し、今後益々増大する電力需要に対応するための電源開発及び大規模消費地向けの大規模な長距離送電線建設が多く計画されている。

ブラジルにおける超電導送電技術導入のための協力関係の構築を目的として、国際協力機構（JICA）は、2015 年 3 月に、ブラジル電力（Eletrobras）とコンタクトをとった。Eletrobras は、ブラジル電力研究所（CEPEL）に対して技術支援を申し入れ、以後、CEPEL は、本件に関するすべての会合や協議に参加している。本調査協力には、知識・技術移転が含まれる見通しである。

本調査は、日本が有する超電導送電技術をブラジルの送電ネットワークへ適用するための基礎調査として、当該技術導入に係る試験や実証計画を策定し、仕様を検討するために実施した。すなわち、本調査は、2030 年頃のブラジルにおける超電導送電技術の実用化を目指した長期のプロジェクトと位置づけられる。

1.2 成果

本基礎調査の成果として、以下の 3 項目を、Eletrobras、CEPEL、JICA の 3 者、並びに Eletrobras の送電会社で協議し策定した。

- (1) 超電導ケーブル導入までのロードマップ（第 3 章）
- (2) R&D プロジェクトの実施方針、仕様（第 4 章）
- (3) 交流超電導送電実証のためのパイロットプラント候補のケーススタディ（第 5 章）

また、現在、前記各関係機関はフィージビリティ調査(以下 FS 調査と記載)実施に向けての議論を展開しているところである。

第2章 超電導送配電技術の開発状況

2.1 日本の開発状況

日本での超電導ケーブルの主要な開発実績を表 2-1 に示す。東京電力の旭変電所の実証試験（Yokohama Project）では、240m の三相一括ケーブル（Three-core cable）¹ を変電所に布設して長期の運転がおこなわれた。また、古河電工での 275 kV の高電圧超電導ケーブルでの、ラボ試験の実績も有する。現在、国のプロジェクトの中で、超電導ケーブルの安全性や事故時の復旧の検討が行われ、実用化は 2025～2030 年と考えられている。

表 2-1 日本における超電導ケーブルの開発

Project	Place	grid	Voltage	Current	Length	Period	Participant
Super-ACE	CRIEPI		77 kV	1,000 A	500 m	2004～2005	Furukawa Electric
Yokohama project	Asahi substation	○	66 kV	3,000 A	240 m	2007～2013	SEI, Mayekawa, TEPCO
MPACC project	Shanyang (CN)		275 kV	3,000 A	30 m	2008～2012	Furukawa Electric
Ishikari Project DC HTS cable	Ishikari		DC20 kV DC20 kA	5,000 A 2500 A	500 m 1000 m	2013～	Chub3 Univ. Chiyoda, SEI, Sakura internet

2.2 世界の開発状況

ヨーロッパ、米国、韓国、中国でも超電導ケーブルの開発は行われている。系統連系した超電導ケーブルの布設状況を表 2-2 に示す。2014 年スタートの AmpaCity のプロジェクトは、現在世界最長の 1 km 長の三相同軸タイプ（Triaxial type）¹ のケーブルで、超電導を用いることで低電圧・大電流送電として、変電所スペースの削減を目的に実施されている。

表 2-2 世界における超電導ケーブルの開発（ネットワークに布設済みのもの）

Nation	Project	Place	Voltage	Current	Length	Year	Participant
USA	National Grid	Albany	34.5 kV	1,000 A	350 m	2006	SEI, BOC, Superpower
USA	AEP	Columbus	13.2 kV	3,000 A	200 m	2006	Southwire
USA	LIPA	Long island	138 kV	2,400 A	600 m	2008	Nexans, AMSC
EU	Denmark	Copenhagen	30 kV		30 m	2001	NKT
EU	Ampa City	Essen	10 kV	2,300 A	1000 m	2014	Nexans
Korea	Genie	Ichon	22.9 kV	1,260 A	500 m	2011	KEPCO, LG cable

注: この表には、ラボ実験あるいはパイロットプロジェクト段階にある各種プロジェクトで、ネットワークに連系されていないものは、含まれていない。

¹ 超電導ケーブルには、(i) 単心（Single core）：1本の断熱管に単相のケーブルコア1本を収納、(ii) 三相一括（Three core）：1本の断熱管に三相を収納、(iii) 三相同軸（Triaxial）：1本の断熱管に同軸の三相を収納、の3タイプがある。



図 2-1 Yokohama Project (Japan)



図 2-2 Layout of Ampacity project

第3章 超電導ケーブル導入までのロードマップ

ブラジルへの超電導送電の導入と実用化に関して、Eletrobras、CEPEL と協議し、図 3-1 に示すロードマップにまとめた。

このロードマップで可能性を検討する項目は、以下のとおりである。

1. 交流超電導送電
2. 長距離直流超電導送電

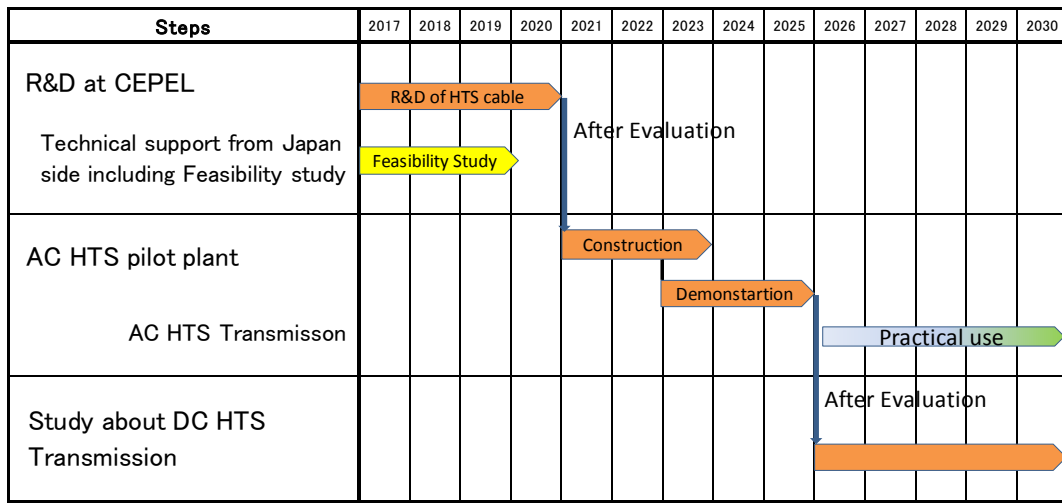


図 3-1 超電導送電導入のロードマップ

日本の資金及び技術的な協力を受けるのに必要な手続き面も含めた今後の進め方は第 6 章にまとめることとし、ここでは、技術的なステップについて以下のとおり記載する。

(1) 第 1 ステップ：CEPEL によるラボ実験を通じた R&D プロジェクト

ブラジルでの超電導送電技術適用には、同国の電力ネットワークに適合した高温超電導ケーブルシステム（High Temperature Superconductor (HTS)）の試験的な開発が必要であるが、そのためには、各要素の設計と試作・評価が必要となる。R&D プロジェクトは、日本側の技術支援を受け、CEPEL が実施する。並行して、将来のパイロットプラントへ向けた技術的・経済的観点からの FS 調査を実施する。また、必要に応じて超電導ケーブルに関する人材の能力向上と設備の整備も検討する。詳細は第 4 章に示す。

(2) 第 2 ステップ：交流超電導ケーブルのパイロットプラント

第 2 ステップは、交流送電を対象としたパイロットプラントによる、技術特性の実地評価である。第 2 ステップは第 1 ステップで実施した R&D の評価及び FS 調査に基づき実施する。パイロットプラントは電力系統に接続した形で実施するため CEPEL に加えて Eletrobras 傘下の送電会社の参加が必須である。パイロットプラントは送電会社の管理下にある場所に設置するのが望ましい。最適候補地の判断や実施形態、規模に関しては第 1 ステップ実施中に並行して検討を行い、第 2 ステップの初期から実用化

ロードマップの検討を行う。第2ステップ終了に伴い、この評価を反映し、交流送電の実用化を図ることになる。詳細は第5章に示す。

(3) 第3ステップ：直流超電導送電の検討

第3ステップは直流超電導送電に関する検討である。第1ステップと第2ステップで得られた知見を基に導入方法に関し具体的な検討を行う。さらに、現状の架空送電線及び地中送電線との経済性評価は必要であり、超電導ケーブルの量産化を見通したコスト議論を行う。直流長距離送電は2,000~3,000kmの長距離送電が対象となり、交流超電導送電の経験なしにこれらの検討は行えないため、ここでは将来このステップについて検討すると示すにとどめる。

交流送電を対象とした超電導ケーブル導入までのロードマップ（第1ステップ及び第2ステップ）を図3-2に示す。

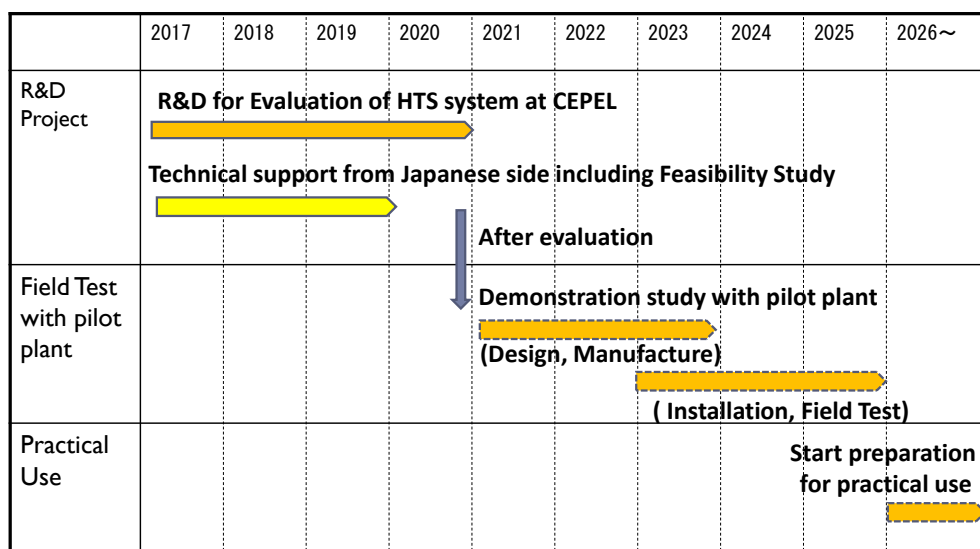


図 3-2 交流超電導送電実用化までのロードマップ

第4章 R&D プロジェクトの提案

4.1 目的

超電導ケーブルを導入するには、ブラジルの電力ネットワークに適合した超電導ケーブルの開発を行い、設置、メンテナンス、信頼性や適合性など総合的に評価する必要がある。そのために R&D プロジェクトを実施し、並行して FS 調査を行い、FS 調査には R&D プロジェクトで開発した超電導ケーブルを反映する。

また、R&D プロジェクトを通して超電導ケーブルに関する人材の能力向上と試験設備の整備も図る。

4.2 概要

実施場所は有能な人員と大電流・高電圧試験用の実験設備が整っている CEPEL Adrianapolis Laboratory とし、長さ 5m 程度の超電導ケーブルを試作・評価することで、超電導ケーブルの開発を行う。評価方法と項目を図 4-1 に示す。簡易な装置、すなわち準備に時間を取らない Open bath test と、液体窒素を循環でき、電圧を印加できるが準備に時間を要する Cable Assembly test の 2 種の方法で評価を行う。Open bath test でケーブル構成や構造を絞り込み、Cable Assembly test で最終評価を行う。

また、FS 調査を R&D プロジェクトと並行して行い、候補地の絞り込みも含めてパイロットプラントの詳細検討を行う。

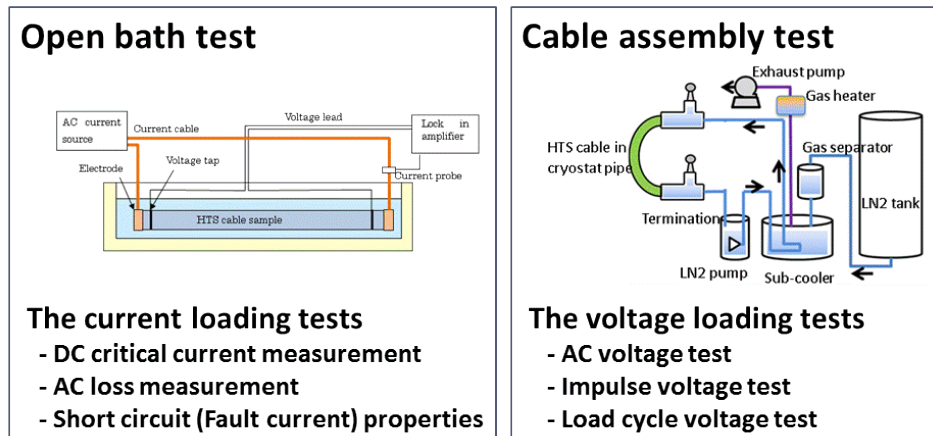


図4-1 試験方法の種類

4.3 装置・設備とスケジュール

Laboratory test のスケジュールを図 4-2 に示す。当初 2 年は Open Bath test を中心に行い、この間に Cable Assembly test 用装置の準備を行い、後半は Cable Assembly test を実施する。必要となる装置・設備の一覧を表 4-1 に示す。

Items	2017	2018	2019	2020
I. Open bath test				
I.1 Purchase of equipment	■			
I.2 Fabrication of cable samples		■	■	
I.3 Laboratory Test		■	■	
2. Cable assembly test				
2.1 Purchase of equipment			■	
2.2 Fabrication of cooling system		■	■	
2.3 Fabrication of cable sample			■	■
2.4 Fabrication of termination			■	
2.5 Laboratory Test			■	■

注：工場でのFabricationとTestの項目では、Elatrobras傘下の会社から代表者が立ち会う。

図4-2 Laboratory testのスケジュール

表4-1 Laboratory testに必要となる装置・設備

Item	Specification
LN2 Open bath	
DC current source	10V - 10 kA
AC current source	6000A (90 kVA)
AC phase condenser	100 kVA
AC voltage transformer	180 kV-1, 11 A / 600 kV 2 A
Impulse Voltage equipment	4000 kV impulse
Schering Bridge	Hipotronics
Digital multi(volt) meter	Fluke multimeters
Lock in amplifier	Minipa MPC-303 DI / 0-30 V/3 A
DC amplifier	Stabilized Source MINIPA MPC-303DI
Current transformer	Measurement of AC current (Clump current probe)
High current facility	100 kA / 3s (monophasic)
Data recorder	YOKOGAWA MobileCorder MV100
Oscilloscope	View of impulse voltage wave, fault current wave, etc.
PD measurement equipment	
Vacuum pump	Turbo-vacuum pump device
He leak detector	
LN2 circulation system	
Termination	

注：ハイライト部分は、CEPELが所有していないため新規購入が必要となる設備

4.4 予算と実施体制

R&D プロジェクトに要するブラジル側の予算を表 4-2 に示す。なお、この予算にはブラジル側の人件費を含んでいない。

表4-2 R&Dプロジェクトの予算

項目	金額 (米ドル)
試験設備	700,000
消耗品	129,000
計	829,000

注：金額は、CEPEL Adrianopolis で実施した調査に基づく。

プロジェクトの実施体制を表 4.3 に示す。このラボプロジェクトは、Eletrobras 傘下の送電会社と共同し、ANEEL 研究開発費 (ANEEL R&D) を用いて CEPEL が実施する。JICA はブラジル政府から日本政府に対して将来のパイロットプラント実施へ向けた円借款要請があることを条件に本 R&D プロジェクトに対する技術支援も行う。

表4-3 R&Dプロジェクトの実施体制

Procurement	CEPEL
Funding (ANEEL R&D)	Transmission company/companies
R&D	CEPEL and transmission company/companies
Technical support	JICA

第5章 パイロットプラントのケーススタディ

5.1 目的

パイロットプラントは、小規模の超電導送電システムであり、超電導ケーブルシステムの実現に必要なとされる超電導ケーブル、終端接続部や中間接続部のケーブル付属品、冷却システム、制御システム、系統と接続するための電力機器および遮断器などの安全装置、布設設備のすべての要素設備から構成されている。パイロットプラントの運転を通して、個々の設備の仕様の確認と信頼性の検証、システム全体としての仕様・能力の確認、運転制御方法の習得、障害のリスクや信頼性検証、そして障害時の復旧やメンテナンスについて、長期の実証試験の中で開発・確認・検証を行う。

5.2 送電会社からの実証候補地

Eletrobras 傘下の Chesf, Eletronorte, Eletrosul, Furnas に対して、前記のパイロットプラントの目的や超電導ケーブルのメリットを説明して、パイロットプラントの候補地についての提示をお願いした。その結果、Chesf, Eletronorte, Eletrosul からは具体的な場所の提示があった。その候補地を表 5-1 に、その位置について、図 5-1 に示す。

表 5-1 パイロットプラントの候補地

State/City	Line	Voltage (kV)	Power (MVA)	Current (A)	Length (m)
Ceará/Fortaleza	Fortaleza I – II	230	265	665	150
Ceará/Fortaleza	Fortaleza I – II	230	800	1600	150
Pernambuco/Recife	Bongi – Açorte	230	400	800	1500
Pernambuco/Recife	Joairam – Bongi	230	800	1,600	1500
Bahia/Sobradinho	Sobradinho – Bahia	230	265	665	550
Mato Grosso/Ribeirãozinho	Barra do Peixe	138	200	837	70
Mat Grosso do Sul / Dourados	Dourados	230	400	1000	350
Santa Catarina/ Caminho Novo	Palhoça	230	400	1000	260
Santa Catarina/ Bairro	Biguaçu	230	400	1000	150
Parana/ Londrina	Londrina	230	400	1000	200



図 5-1 候補地の位置

5.3 実証候補地における概念設計（予算を含む）

3社から提示のあった候補地および送電仕様を基に、超電導ケーブルシステムの設計検討を行った。230 kV 送電は単心超電導ケーブルとして、138 kV 送電は単心超電導ケーブルと、三相一括超電導ケーブルの両者を検討した。布設形態としては、トラフ（Trough, Trench）収納か地中埋設とするが、現地工事費については布設方法、現地労務費・資材費によるので算出していない。こうした工事費の検討は、FS 調査で行われる予定である。

ブラジルにおける超電導ケーブルのパイロットプラントの将来的な実施については、JICA はブラジル政府とのパートナーシップのもと、資金協力を検討する。ブラジル政府が JICA に対して資金協力要請を行う前提条件として、まず、ブラジル予算企画省の外国資金支援審議会（COFIEX）に対し審査を申請する必要がある。COFIEX が承認すれば、次のステップとして、ブラジル議会で審議が行われることになる。

表 5-2 ケーブル仕様とコスト(Chesf)

	Fortaleza I – Fortaleza II		Bongi		Sobradinho – Bahia
	1cct 400MW	3cct 800MW	->Açonorte	C1 –C2	
Voltage [kV]	230	230	230	230	230
Current [A]	800	1,600	800	1,600	800
Length [m]	150	150	1500	1500	550
Cable type	Single core	Single core	Single core	Single core	Single core
Instalation	Trench	Trench	Underground	Underground	Trench
Initial cost [k-US\$]					
HTS cable	1,140	1,350	11,400	12,800	4,200
Intermediate joint	---	---	600	600	200
Termination sets	900	900	900	900	900
Cooling System	8,000	8,000	14,000	14,000	10,000
Protection system	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
Installation(Civil work)					
Total (Equipment)	13 M-US\$	13 M-US\$	29 M-US\$	31 M-US\$	16 M-US\$

表 5-3 ケーブル仕様とコスト(Eletronorte)

	Barra do Peixe (Single core)	Barra do Peixe (Three core)
Voltage [kV]	138	138
Current [A]	537	537
Length [m]	70	70
Cable type	Single core	Three core
Instalation	Trench	Trench
Initial cost [US\$]		
HTS cable	520	520
Intermediate joint	---	---
Termination sets	900	600
Cooling System	5,000	5,000
Protection system	2,500	2,500
Installation(Civil work)		
Total (Equipment)	9 M-US\$	9 M-US\$

表 5-4 ケーブル仕様とコスト(Eletrosul)

	Dourados	Biguaçu	Palhoça	Londrina
Voltage [kV]	230	230	230	230
Length [m]	1000	1000	1000	1000
Length [m]	350	150	260	200
Cable type	Single core	Single core	Single core	Single core
Installation	Trench	Trench	Trench	Trench
Initial cost [US\$]				
HTS cable	2669	1144	1983	1525
Termination sets	900	900	900	900
Cooling System	8000	8000	8000	8000
Control system	2500	2500	2500	2500
Installation(Civil work)				
Total (Equipment)	14 M-US\$	13 M-US\$	13 M-US\$	13 M-US\$

5.4 実施体制

パイロットプラントの実施体制としては、Eletrobras が全体の調整を行い、パイロットプラントを実施するサイトの送電会社が、CEPEL と JICA の技術支援を受けて実施し、資材調達、工事、運転を行う。

このパイロットプラントプロジェクトは、日本との協力事業として、実施に必要な資金協力と技術支援を受けつつ行われる（前項の記述を参照）。

表5-5 パイロットプラントの実施体制

Organizer	Eletrobras
Procurement	Transmission company/companies
Financial support	JICA
Funding	Eletrobras
Operation	Transmission company/companies
Technical support	CEPEL, JICA

第6章 今後の展開

本報告書は、超電導ケーブルの実用化を目指した長期プロジェクトを提案するものであり、2017年2月に今回の基礎調査を終え、今後も段階的に以下の手順にて検討を進めていく必要がある。

第一段階：Eletrobras が関連する送電会社と共同し、超電導技術の提示を目的としたパイロットプラント（単数あるいは複数）の実施候補地を選定。並行して、CEPEL が超電導技術のラボ実験を目的とした R&D プロジェクトを 2017 年から開始する。このプロジェクトの実施にあたっては、Eletrobras の送電会社のうち少なくとも 1 社が参加し、かつ国家電力庁（ANEEL）の認定を受ける必要がある。

第二段階：第一段階で選定されたパイロットプラントの実施候補地に対し FS 調査を実施する。調査実施にあたっては、JICA による資金及び技術的な協力が必要である。

そのために、JICA に将来的な資金協力要請を行う前提条件として、Eletrobras 若しくは然るべきブラジル政府機関が、ブラジル予算企画省が管理する外国資金支援審議会（COFIEX）に対し審査を申請する必要がある。この審査を通過すれば、ブラジル政府から日本国政府への資金協力要請が暫定的に承認を受けたことになる。しかしながら、この暫定的な承認は資金協力の実施を担保するものではなく、資金協力の可否は、FS 調査及び R&D プロジェクトの結果に基づいて決定される（図 3-2）。

第三段階：FS 調査及び Laboratory test（ANEEL R&D プロジェクト）の結果が承認されれば、最適地として選定された実施候補地でのパイロットプラント実施が認可を受ける。パイロットプラントの実施に際して、Eletrobras は、自身若しくは然るべきブラジル政府機関を通じて、前項記載の暫定的に承認を受けた JICA による資金協力の必要性を再通知する必要がある。日本国政府及び JICA は、この要請に基づき、資金協力の実施可否を決定する。

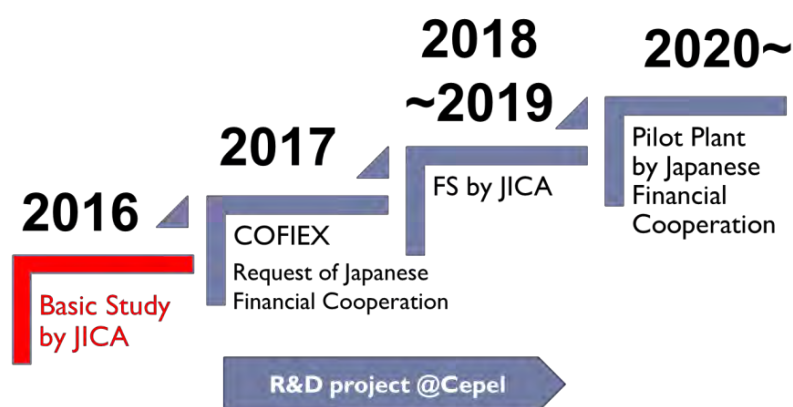


図 6-1 図式化した今後の展開

アネックス

添付資料1 パイロットプラントの実施候補地における設計図（布設の可能性）

① 変電所内の母線（Connection line, Bus line）

変電所のスペース活用を目的として、母線の超電導化を検討した。図 A-1 に、超電導送電システムの安全性と信頼性を証明するために、超電導ケーブル（HTS）と従来の送電線を比較した構成図を示す。

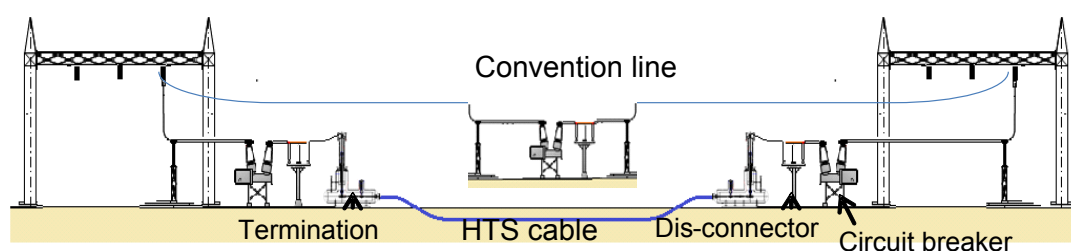


図 A-1 変電所内への超電導ケーブルの適用例

② 架空送電線代替え地中送電線

都市部の架空送電線の代替えとしての超電導ケーブルの構成図を、超電導送電システムの安全性と信頼性を証明するために、超電導ケーブル（HTS）と従来の送電線を比較した形で、図 A-2 に示す。

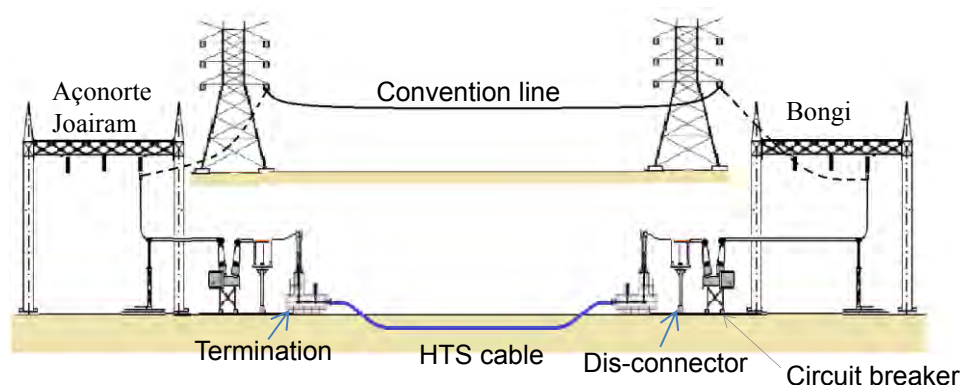


図 A-2 架空送電線を超電導ケーブルに置き換える適用例

添付資料2 パイロットプラントの実施候補地における仕様とコスト検討結果（まとめ）

Company	Chesf				Eletronorte		Eletrosul				
Site information											
State	Ceará		Pernambuco		Bahia	Mato Grosso		Mato Grosso do Sul	Santa Catarina	Santa Catarina	Parana
City	Fortaleza		Recife		Sobradinho	Ribeirãozinho		Dourados	Caminho Novo	Bairro	Londrina
Substation	Fortaleza I		Bongi	Joairam	Sobradinho	Barra do Peixe		Dourados	Palhoça	Biguaçu	Londrina
	Fortaleza II		Açonorte	Bongi							
Location			8°03'49.5"S 34°55'42.6"W		9°26'11.7"S 40°49'36.0"W	16°29'41.0"S 52°36'56.4"W		22°16'01.9"S 54°59'37.0"W	27°38'32.4"S 48°41'28.6"W	27°29'04.0"S 48°44'02.4"W	23°27'46.86"S 51° 8'21.57"W
Line	Connection between SE		Airlines between SE		Connection SE	Replace of bas in SE		Replace of bas in SE	Replace of bas in SE	Replace of bas in SE	Replace of bas in SE
Nominal voltage	230 kV	230 kV	230 kV		230 kV	138 kV		230 kV	230 kV	230 kV	230 kV
Capacity	265 MVA (1cctt)	800 MVA (3cct)	400 MVA	800 MVA	265 MVA	200 MVA (AT4 + AT5)		400 MVA	400 MVA	400 MVA	400 MVA
Length	150 m	150 m	1500 m	1500m	550 m	70 m		350 m	260 m	150 m	200 m
Cable design											
Cable Type	Single core	Single core	Single core	Single core	Single core	Three core	Single core	Single core	Single core	Single core	Single core
Nominal current	1000 A	2000 A	1000 A	2000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
Fault current (Max)	63 kA	63 kA	63 kA	63 kA	63 kA	40 kA	40 kA	63 kA	63 kA	63 kA	63 kA
Cable dimension											
Diameter of Cable	153 mm	155 mm	157 mm	165 mm	157 mm	198 mm	126 mm	157 mm	157 mm	157 mm	157 mm
Weight	14.1 kg/m	14.1 kg/m	14.1 kg/m	14.9 kg/m	14.1 kg/m	18.1 kg/m	9.7 kg/m	14.3 kg/m	14.3 kg/m	14.3 kg/m	14.3 kg/m
System configuration											
HTS cable	150 m x 3 cables	150 m x 3 cables	1500 m × 3 cables	1500 m × 3 cables	550 m x 3 cables	70 m x 1 cables	70 m x 3 cables	350 m x 3 cables	260 m x 3 cables	150 m x 3 cables	200 m x 3 cables
Termination	6 terminations	6 terminations	6 terminations	6 terminations	6 terminations	2 terminations	6 terminations	6 terminations	6 terminations	6 terminations	6 terminations
Joint	N.A.	N.A.	9 joints	9 joints	3 joints	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Cooling system	10 kW	10 kW	20 kW	20 kW	10 kW	5 kW	5 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW
Cooling system specification											
Flow rate	25 L/min-cable	25 L/min-cable	25 L/min-cable	25 L/min-cable	25 L/min-cable	20 L/min	10 l/min	20 L/min-cable	20 L/min-cable	20 L/min-cable	20 L/min-cable
Temperature of inlet	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K	70 K
Temperature of outlet	73 K	75 K	77 K	77 K	75 K	74 K	75 K	75 K	75 K	74 K	75 K
Pressure at inlet	0.93 MPa	0.93 MPa	0.73 MPa	0.73 MPa	0.98 MPa	0.4 MPa	0.49 MPa	0.71 MPa	0.63 MPa	0.53 MPa	0.58 MPa
Pressure at outlet	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa	0.4 MPa
Total heat capacity	4.5 kW	5.7 kW	15.2 kW	18.8 kW	6.8 kW	2.0 kW	2.8 kW	5.7 kW	5.1 kW	4.5 kW	4.8 kW
Max flow rate	50 l/min	50 l/min	75 l/min	90 l/min	50 l/min	20 l/min	20 l/min	40 l/min	40 l/min	40 l/min	40 l/min
Cost estimation											
HTS cable	1140 k-US\$	1350 k-US\$	11400 k-US\$	12800 k-US\$	4200 k-US\$	520 k-US\$	520 k-US\$	2670 k-US\$	2000 k-US\$	1150 k-US\$	1550 k-US\$
Cable joint	N.A.	N.A.	600 k-US\$	600 k-US\$	200 k-US\$	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Termination sets	900 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$	600 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$	900 k-US\$
Cooling System	8000 k-US\$	8000 k-US\$	14000 k-US\$	14000 k-US\$	8000 k-US\$	5000 k-US\$	5000 k-US\$	8000 k-US\$	8000 k-US\$	8000 k-US\$	8000 k-US\$
Protection system	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$	2500 k-US\$
Civil work											
Installation											
Operation cost	125 k-US\$/year	138 k-US\$/year	420 k-US\$/year	590 k-US\$/year	150 k-US\$/year	51 k-US\$/year	57 k-US\$/year	138 k-US\$/year	131 k-US\$/year	125 k-US\$/year	128 k-US\$/year
Discussion											
Cost of equipment (Mil USD)	13	13	29	31	16	9	9	14	13	13	13
Good points		Suitable capacity for HTS cable.	1500m is the world's longest HTS cable. Joairam - Bongi reduces a line from 2 to 1			We can choose three core cable because the voltage is low.					
Issues		Applying HTS cables to all lines is not realistic because a blackout occurs in the wide	Challenging project			Eletronorte understands this site is too short length not to evaluate potential and benefit of superconducting technologies.				Eletrosul has the other plan in this substation. There is no space already.	Eletrosul has the other plan in this substation. There is no space already.
Evaluation		Eliminated from candidate	Bongi - Açonorte ; 1 circuit line -> 1 HTS cable line Joairam - Bongi: 2 ccircuit line -> 1 HTS cable line			Eliminated from candidate. We are looking for new candidate site.				Eliminated from candidate	Eliminated from candidate

