No. 3

国際協力事業団

ブラジル南部電力公社
リオグランデドスル州電力公社

ブラジル国
石炭火力発電所環境評価調査
ファイナルレポート

1997年9月

LIBRARY
J 1144991 [5]

株式会社数理計画
東電環境エンジニアリング株式会社

鉱調資
JR
97-163

1144991 (5)

国 際 協 力 事 業 団

ブラジル南部電力公社
リオグランデドスル州電力公社

ブラジル国
石炭火力発電所環境評価調査
ファイナルレポート

1997年9月

株 式 会 社 数 理 計 画
東電環境エンジニアリング株式会社

鉱調資
JR
97—165

序　文

日本国政府は、ブラジル連邦共和国の要請に基づき、同国の石炭火力発電所環境影響評価調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成７年６月から平成９年７月までの間、５回にわたり（株）数理計画の野口雅章氏を団長とし、（株）数理計画及び東電環境エンジニアリング（株）の団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、ブラジル連邦共和国政府及び当該電力公社関係者と協議を行うとともに、現地調査を実施し、帰国後国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本評価の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心から感謝申し上げます。

平成９年９月

藤田公郎

国際協力事業団
総裁　藤田公郎

平成９年９月

国際協力事業団
総裁藤田公郎殿

伝達状

ブラジル連邦共和国石炭火力発電所環境影響評価調査の最終報告書を提出いたしますのでよろしく御査収願います。

本報告書は、ブラジル国サンタカタリーナ及びリオグランデドスルの両州に点在する石炭火力３発電所とその周辺２０ｋｍを対象に、発電所の周辺大気への環境影響を測定・評価し、必要な対策を提案しております。

本報告書は、要約と本文から構成されております。要約には調査結果の概要を、本文には調査全体の経過と結果を記載しております。なお本文には各専門分野で採取したデータとその解析・検討方法などの必要情報を添付しました。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間にわたり、多大なご支援とご援助を賜った貴事業団、外務省、通商産業省、駐ブラジル日本大使館、駐ポルトアレグレ日本総領事館、並びにブラジル連邦共和国政府及びサンタカタリーナ及びリオグランデドスル両州の諸機関の関係各位に対し、心から感謝の意を表するものであります。

本調査の結果がブラジルの石炭火力発電所ひいてはブラジル国の今後の発展のために貢献できることを切に願う次第であります。

野口雅章

JICA 調査団長
野口雅章

目　次

第１章　序

1.1　背景　1- 1

1.2　調査概要　1- 1

第２章　ブラジル国の火力発電事業を巡る社会・経済状況

2.1　社会・経済現況と経済開発政策　2- 1

2.2　電力セクターの現状と国家政策　2- 4

第３章　大気保全に係わるブラジル国の政策

3.1　環境政策　3- 1

3.2　大気環境に関する法規制　3- 1

第４章　環境大気の現状とその評価

4.1　気象　4- 1

4.2　自動連続測定　4- 2

4.3　簡易測定　4-16

4.4　化学分析　4-17

第５章　ばい煙の現状とその評価

5.1　石炭火力発電所の設備概要　5- 1

5.2　ばい煙測定　5- 5

第６章　大気質へのばい煙影響評価

6.1　ばい煙影響評価手法の概要　6- 1

6.2　年平均濃度分布　6- 1

6.3　測定局における日平均濃度及び１時間濃度　6-18

6.4　１時間値濃度プロファイル　6-18

6.5　大気質へのばい煙影響評価のまとめ　6-21

第７章　大気質の将来予測

7.1　発電所の増強計画概要　7- 1

7.2　大気質の将来予測と影響評価　7- 3

第８章　大気汚染防止対策の提言

8.1　はじめに　8- 1

8.2　火力発電所の大気汚染防止対策の概要　8- 2

8.3　各発電所対策　8- 3

8.4　大気環境監視システム計画と運用　8-13

8.5　ばい煙測定システム計画と運用　8-24

第９章　結論

参考文献

添付資料

本文挿入表　リスト
（除添付資料挿入）

1.2.1　対象発電所と構成ユニット ……1- 3
1.2.2　JICA 調査団 ……1- 4
1.2.3　ブラジル側調査団 ……1- 5
1.2.4　作業の全体工程 ……1- 7
2.1.1　ブラジル国国民総生産及び実質国内総生産 ……2- 3
2.1.2　ブラジル国エネルギー保有量、生産量、消費量 ……2- 4
2.2.1　ブラジル国発電電気量 ……2- 6
2.2.2　ブラジル国燃料別発電電力量 ……2- 6
2.2.3　発電設備容量 ……2- 7
2.2.4　対象電力公社の発電電力量 ……2- 7
2.2.5　ブラジル国石炭量 ……2- 8
3.2.1　大気質の環境基準 ……3- 2
3.2.2　緊急時の措置のための水準 ……3- 3
3.2.3　汚染質の排出基準 ……3- 4
3.2.4　対象発電所の排出基準 ……3- 5
4.1.1　気象観測局及び測定項目 ……4- 1
4.2.1　自動連続測定局の測定項目 ……4- 2
4.2.2　自動連続測定結果 ……4- 9
4.3.1　簡易測定方法 ……4-16
4.4.1　化学分析 ……4-24
5.1.1　石炭火力発電所の既設設備概要 ……5- 2
5.1.2　各発電所で燃料として使用されている石炭の性状 ……5- 4
5.2.1　ばい煙測定方法 ……5- 5
5.2.2　排ガス量またはSO_2発生量の計算値と実測値の比率% ……5- 6
5.2.3　ダスト、SO_2、NO_x排出量と FEPAM 基準値との比率 ……5- 7
6.2.1　各地域におけるNO_2/NO_x比率 ……6- 5
6.2.2　大気安定度別の風速補正用係数 ……6- 5
6.2.3　大気安定度別パラメータの設定 ……6- 6
6.2.4(1)　排出諸元（ジョルジュラセルダ） ……6- 7
6.2.4(2)　排出諸元（シャルケアーダス） ……6- 7
6.2.4(3)　排出諸元（カンジオッタ） ……6- 7
6.3.1　測定局における日平均及び1時間濃度 ……6-18
6.4.1(1)　最大負荷時の排ガス量と汚染物質排出量（ジョルジュラセルダ） ……6-19
6.4.1(2)　最大負荷時の排ガス量と汚染物質排出量（シャルケアーダス） ……6-20
6.4.1(3)　最大負荷時の排ガス量と汚染物質排出量（カンジオッタ） ……6-20

6.4.2 気象条件の設定 ……6-20
6.4.3 各発電所における風下最高濃度 ……6-21
7.1.1 増設発電所の設備概要 ……7- 2
7.2.1(1) 排出諸元（将来・ジョルジュラセルダ）……7- 4
7.2.1(2) 排出諸元（将来・シャルケアーダス＋ジャクイ）……7- 4
7.2.1(3) 排出諸元（将来・カンジオッタ）……7- 4
7.2.2 測定局における日平均及び1時間濃度（将来）……7-15
7.2.3 各発電所における風下最高濃度（将来）……7-16
8.3.1 ジョルジュラセルダ発電所のSO_2排出量 ……8- 4
8.3.2 各発電所のばい煙の設備対策及びその費用 ……8-11
8.3.3 運転費算出条件 ……8-11
8.3.4 運転費用（年間）……8-11
8.3.5 各発電所のばい煙対策の概要 ……8-12
8.4.1 増設計画 ……8-17
8.4.2 Jorge Lacerda 周辺測定増強案 ……8-18
8.4.3 Jorge Lacerda 各測定局の測定項目 ……8-19
8.4.4 Charqueadas 周辺測定増強案 ……8-20
8.4.5 Charqueadas と Jacui 各測定局の測定項目 ……8-20
8.4.6 Candiota 周辺測定増強案 ……8-20
8.4.7 Candiota 各測定局の測定項目……8-21
8.4.8 測定器購入費 ……8-22
8.4.9 大気環境モニタリングシステムへの提言のまとめ ……8-23
8.5.1 ばい煙測定法 ……8-25
8.5.2 ダスト濃度計の方式と測定原理 ……8-28
8.5.3 ばい煙測定システム提言のまとめ ……8-28
9.1 提案のまとめ ……9- 3

本文挿入図　リスト
(除添付資料挿入)

1.2.1　調査対象地域図 …… 1- 2
1.2.2　調査概要 …… 1- 4
2.2.1　電力行政組織図 …… 2- 5
4.1.1　年間風配図 …… 4- 3
4.1.2　風速階級別出現頻度 …… 4- 4
4.1.3　大気安定度出現頻度 …… 4- 5
4.2.1(1) 測定局配置図（ジョルジュラセルダ） …… 4- 6
4.2.1(2) 測定局配置図（シャルケアーダス） …… 4- 7
4.2.1(3) 測定局配置図（カンジオッタ） …… 4- 8
4.2.2　時刻別濃度変化（SO_2） …… 4-11
4.2.3　時刻別濃度変化（NO_x） …… 4-12
4.2.4　月別濃度変化（NO_x） …… 4-13
4.2.5　大気安定度別平均濃度（SO_2） …… 4-14
4.2.6　大気安定度別平均濃度（NO_x） …… 4-15
4.3.1(1) 簡易測定による地域濃度分布（ジョルジュラセルダ・SO_2） …… 4-18
4.3.1(2) 簡易測定による地域濃度分布（ジョルジュラセルダ・NO_2） …… 4-19
4.3.1(3) 簡易測定による地域濃度分布（シャルケアーダス・SO_2） …… 4-20
4.3.1(4) 簡易測定による地域濃度分布（シャルケアーダス・NO_2） …… 4-21
4.3.1(5) 簡易測定による地域濃度分布（カンジオッタ・SO_2） …… 4-22
4.3.1(6) 簡易測定による地域濃度分布（カンジオッタ・NO_2） …… 4-23
5.2.1　出力と排ガス量またはSO_2排出量との相関 …… 5- 6
5.2.2　炉内温度と理論NO発生量 …… 5- 7
6.2.1　年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・現状・SO_2） …… 6- 9
6.2.2　年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・現状・NO_2） …… 6-10
6.2.3　年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・現状・SPM） …… 6-11
6.2.4　年平均濃度分布（シャルケアーダス・現状・SO_2） …… 6-12
6.2.5　年平均濃度分布（シャルケアーダス・現状・NO_2） …… 6-13
6.2.6　年平均濃度分布（シャルケアーダス・現状・SPM） …… 6-14
6.2.7　年平均濃度分布（カンジオッタ・現状・SO_2） …… 6-15
6.2.8　年平均濃度分布（カンジオッタ・現状・NO_2） …… 6-16
6.2.9　年平均濃度分布（カンジオッタ・現状・SPM） …… 6-17
6.4.1　1時間値濃度プロファイル（ジョルジュラセルダ・現状・SO_2） …… 6-22
6.4.2　1時間値濃度プロファイル（ジョルジュラセルダ・現状・NO_2） …… 6-23
6.4.3　1時間値濃度プロファイル（ジョルジュラセルダ・現状・SPM） …… 6-24
6.4.4　1時間値濃度プロファイル（シャルケアーダス・現状・SO_2） …… 6-25

6.4.5　1時間値濃度プロファイル（シャルケアーダス・現状・NO_2）……6-26
6.4.6　1時間値濃度プロファイル（シャルケアーダス・現状・SPM）……6-27
6.4.7　1時間値濃度プロファイル（カンジオッタ・現状・SO_2）……6-28
6.4.8　1時間値濃度プロファイル（カンジオッタ・現状・NO_2）……6-29
6.4.9　1時間値濃度プロファイル（カンジオッタ・現状・SPM）……6-30
7.2.1　年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・将来・SO_2）……7- 6
7.2.2　年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・将来・NO_2）……7- 7
7.2.3　年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・将来・SPM）……7- 8
7.2.4　年平均濃度分布（シャルケアーダス・将来・SO_2）……7- 9
7.2.5　年平均濃度分布（シャルケアーダス・将来・NO_2）……7-10
7.2.6　年平均濃度分布（シャルケアーダス・将来・SPM）……7-11
7.2.7　年平均濃度分布（カンジオッタ・将来・SO_2）……7-12
7.2.8　年平均濃度分布（カンジオッタ・将来・NO_2）……7-13
7.2.9　年平均濃度分布（カンジオッタ・将来・SPM）……7-14
7.2.10　1時間値濃度プロファイル（シャルケアーダス・将来・SO_2）……7-17
7.2.11　1時間値濃度プロファイル（シャルケアーダス・将来・NO_2）……7-18
7.2.12　1時間値濃度プロファイル（シャルケアーダス・将来・SPM）……7-19
7.2.13　1時間値濃度プロファイル（カンジオッタ・将来・SO_2）……7-20
7.2.14　1時間値濃度プロファイル（カンジオッタ・将来・NO_2）……7-21
7.2.15　1時間値濃度プロファイル（カンジオッタ・将来・SPM）……7-22
8.2.1　火力発電所の大気汚染防止対策の概要……8- 2
8.4.1　土地利用（ジョルジュラセルダ地域）……8-14
8.4.2　土地利用（シャルケアーダス地域）……8-15
8.4.3　土地利用（カンジオッタ地域）……8-16
8.5.1　連続煙道ガス分析計の一般構成……8-25

省略記号表

ABC	Agencia Brasileira de Cooperacao
A-P	Precipitation
B/T	Brazilian Counterpart Teams
CEEE	Companhia Estadual de Energia Eletrica - RS
CMB	Chemical Mass Balance
CONAMA	National Environmental Council
C/P	Counterpart(s)
De-NOx	Nitrogen Oxides Removal Plant or Process
De-SOx	Sulfur Oxides Removal Plant or Process
DF/R	Draft Final Report
ELETROSUL	Centrais Eletricas do Sul do Brasil S/A
EC	Electro-conductivity
EIA	Environmental Impact Assessment
EP or ESP	Electrostatic Prepicitator
FATMA	Fundacao do Meio Ambiente-SC
FEPAM	Fundacao Estadual de Protecao Ambiental-RS
FGD	Flue Gas Desulfurization
FLP (or FLN)	Florianopolis - SC
F/R	Final Report
GOJ	Government of Japan
HC	Hydrocarbons
IBAMA	Brazilian Institute for Environment and Renewable Natural Resources
IC/R	Inception Report
I/M	Inspection and Maintenance
IT/R	Interim Report
JICA	Japan International Cooperation Agency
JIS	Japan Industrial Standards
J/T	JICA Study Team
MMA	Ministry of Environment, Water Resources and Legal Amazon
MME	Ministry of Mines and Energy
n.a. or na	not available
NETR	Net Radiation
NOx	Nitrogen Oxides (NO & NO_2)
OJT	On the Job Training
OS	Operation System
PM	Particulate Matter
PM10	PM under 10 microns
POA	Porto Alegre - RS
PTIO	2-phenyl-4,4,5,5-tetramethylimidazoline-3-oxide-1-oxyl
RIMA	Environmental Impact Statement
ROM	Run of Mine
RS	State of Rio Grande do Sul
SC	State of Santa Catarina
SOx	Sulfur Oxides (SO_2 & SO_3)
SPM	Suspended Particulate Matter
SUN	Solar Radiation
S/W	Scope of Work
TEA	Triethanolamine
TSP	Total Suspended Particulates
U or u	Unit (usually with a numeral - indicating the plant unit number, ex. 3u)
ug or μg	micro gram
WB or W/B	World Bank
WHO	World Health Organization
¥	Currency unit of Japan: U.S.A. $ 1.00 = ¥120 in this Report

第1章　序

1.1　背景

本書は、「ブラジル国石炭火力発電所環境影響評価調査」（以下本調査と記す）のドラフトファイナルレポートである。ブラジル国における石炭火力は、南部のサンタカタリーナ及びリオグランデドスルの二つの州に集中している。鉱山エネルギー省は、渇水期に水力発電の利用率が徐々に減少し始めたことから、その補充として石炭火力を、将来増設する計画を持った。その為、石炭火力の周辺大気への環境影響を評価するよう、同省は日本政府に協力を要請（別添 1-1）してきた。

この要請に対し、日本政府は国際協力事業団（以下 JICA と略す）を担当機関に指定し、JICA は、平成７年１月にブラジル側担当機関であるブラジル南部電力公社（ELETROSUL）とリオグランデドスル州電力公社（CEEE）との間で業務範囲を確認した（別添 1-2）。

JICA は、その業務を実施する調査団（以下 JICA 調査団と略す）を、民間企業により構成した。JICA 調査団は平成７年６月本調査に着手した。

本調査の実施期間中に、ブラジル政府の発電の民営化と天然ガス使用の政策が明確化され、対象３発電所の内、2100MW 予定のカンジオッタ発電所将来計画は、350MW に縮小された。ジョルジュラセルダ発電所の IV 号機は、調査期間中の平成９年１月に、商業運転を開始した。シャルケアーダス発電所のジャクイ I 号機は、未だ建設中止状態である。

本レポートは、要約と添付資料を含む本文の２部によって構成されている。添付資料には、本調査に関連する記録文書、調査データ、使用した方法等をまとめた。また、レポートに引用したデータ、文献類は、参考文献リストにまとめ、#印を添付した番号にて区別した。

1.2　調査概要

1.2.1　調査目的

本調査の目的は、石炭火力発電所の周辺地域の大気環境を評価し、さらに技術移転により、増設計画に際して有効な対策を検討できるよう貢献することである。

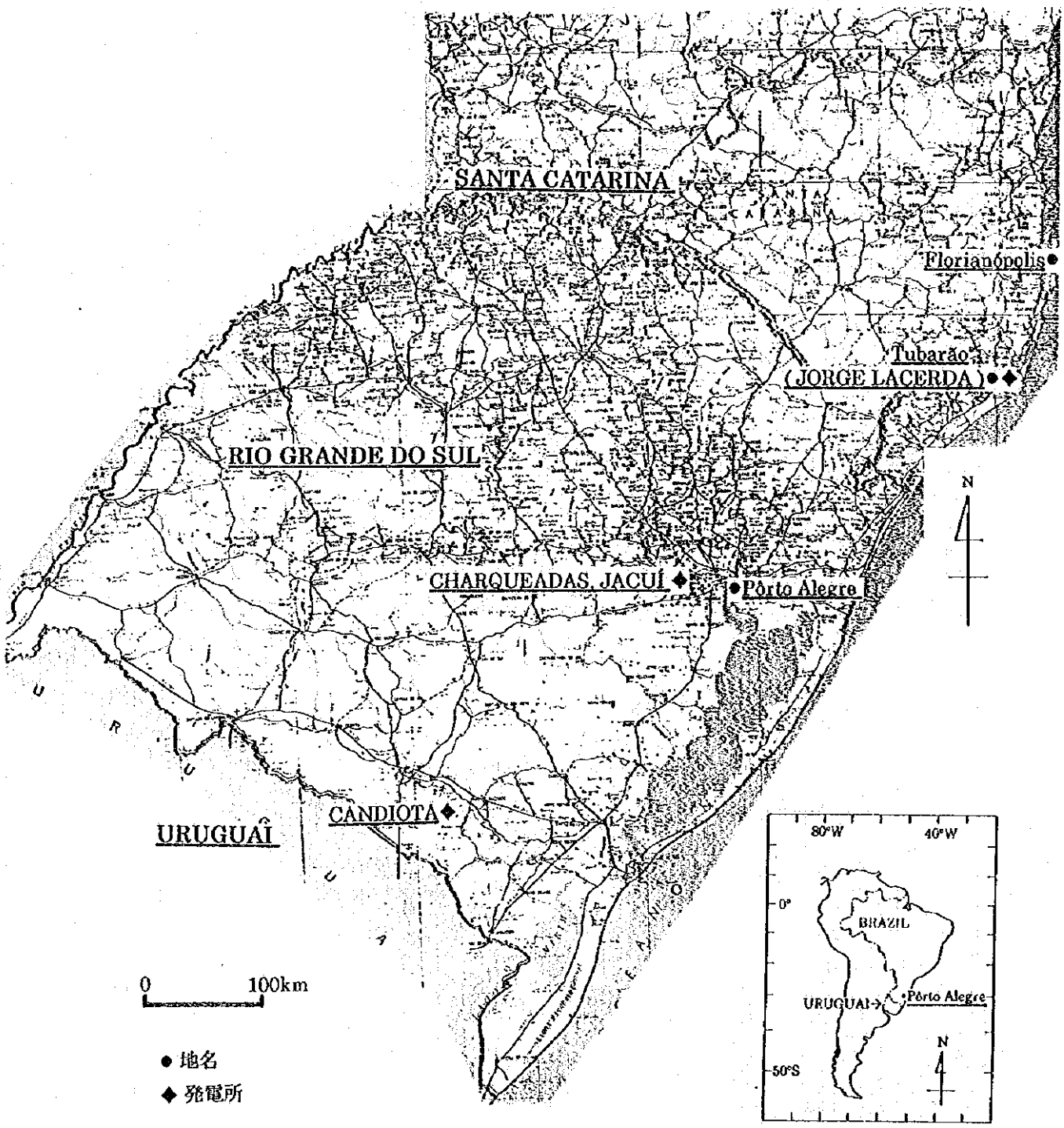


図 1.2.1 調査対象地域図

1.2.2 調査対象地域と対象汚染物質

対象発電所は、図 1.2.1 に示すようにジョルジュラセルダとシャルケアーダス、カンジオッタの３発電所である。各発電所の構成を現在判明している将来計画を含んで表 1.2.1 に示した。

表 1.2.1 対象発電所と構成ユニット

発電所名 (所有者)	ユニット 記号	定格出力	建設年度
ジョルジュラセルダ	A Ⅰ-1	50 MW	1961
(ELETROSUL)	A Ⅰ-2	50	1963
	A Ⅱ-3	66	1972
	A Ⅱ-4	66	1972
	B Ⅲ-5	125	1977
	B Ⅲ-6	125	1977
	Ⅳ	350	1/1997
シャルケアーダス	1	18	1956
(ELETROSUL)	2	18	1956
	3	18	1956
	4	18	1968
	ジャクイ 1	350	12/1999
カンジオッタ	Ⅱ A-1	63	1974
(CEEE)	Ⅱ A-2	63	1974
	Ⅱ B-1	160	1986
	Ⅱ B-2	160	1986
	Ⅲ	350	(9/2003)

調査範囲は各発電所周辺ほぼ 20km の範囲である。環境大気及びばい煙中の硫黄酸化物、窒素酸化物、粒子状物質を対象物質とした。また、雨水と降下粉塵中の水溶性物質の主要イオンと酸性度の分析を、各発電所一カ所づつとカンジオッタから 20km よりも離れているがアセグアの計４カ所で実施した。更に、環境大気及びばい煙中の粒子状物質に含まれる８元素を分析した。

1.2.3 調査組織

JICA 調査団の団員名と担当業務を表 1.2.2 に示した。相手側は ELETROSUL と CEEE の２チームに分かれ、それらの団員名を表 1.2.3 に示した。なお、CEEE の総括は、平成８年途中から変更された。

表 1.2.2　JICA 調査団

団員名	担当業務分野
野口雅章	総括
秋澤武夫	副総括・環境保全対策・発電設備
菊地晴夫	大気環境評価・モニタリング計画
高浜賢二	大気環境測定（環境大気・気象・酸性雨）
梅澤民樹	同上
長澤俊樹	ばい煙モニタリング計画・測定
座間芳文	ばい煙測定
中島敏夫	化学分析
深山暁生	数値解析

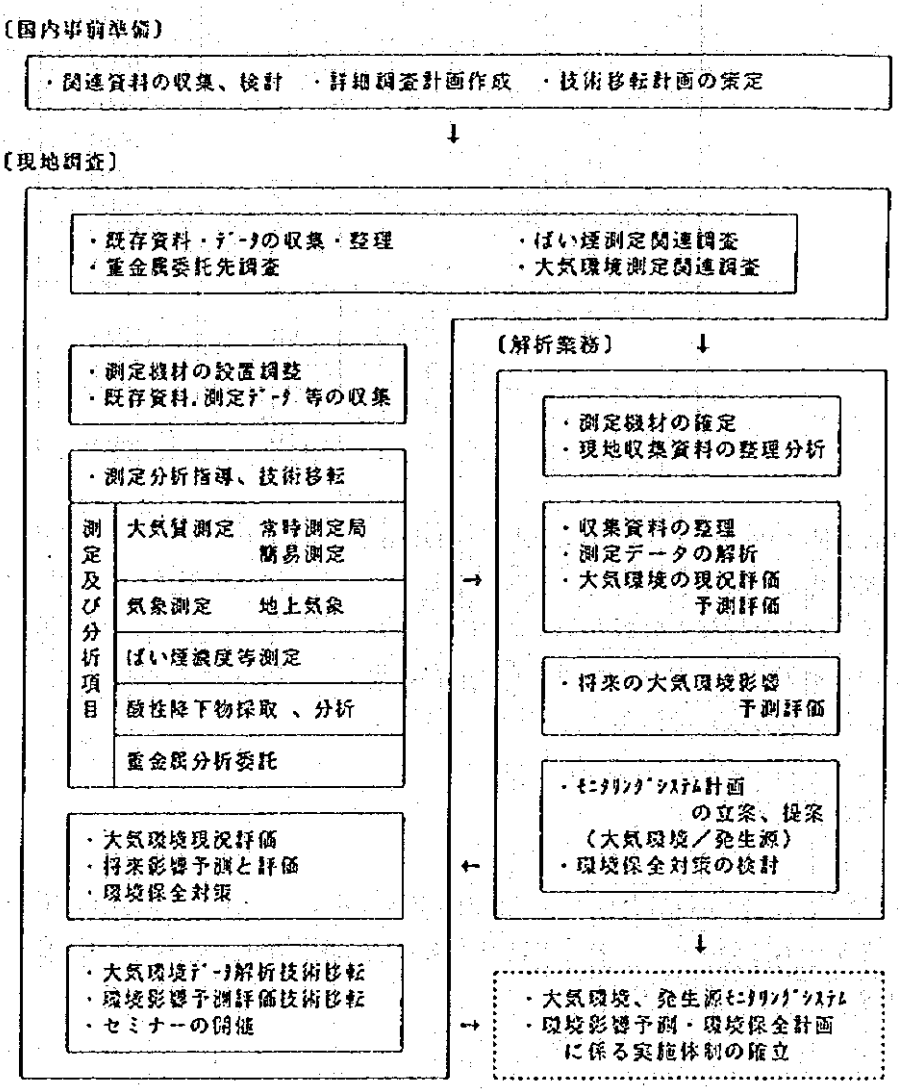


図 1.2.2　調査概要

表 1.2.3　ブラジル側調査団

ELETROSUL チーム

	担当業務	名　前	所　属
1	総括	Edison Pereira de Lima	Gerente de Meio Ambiente - FLP
2	大気環境評価・モニタリング計画	Ligia Bittencourt da Silva	Planejamento - FLP
		Maristela B. Mendes	Setor Engenharia Ambiental - FLP
3	ばい煙モニタリング計画	Jose Lourival Magri	Planejamento - FLP
		Christiane R. Coelho	Setor Engenharia Ambiental - FLP
4	大気環境測定	Ligia Bittencourt da Silva	Planejamento - FLP
		Maristela B. Mendes	Setor Engenharia Ambiental - FLP
		Alexandre Thiele	Chefe Laboratorio - Jorge Lacerda
		Etilio Tuiscon Kich	Chefe Laboratorio - Charqueadas
		Paulo Vinicius Lima	Laboratorio - Charqueadas
		Amaro Vaz Machado	Laboratorio - Charqueadas
		Daniel Aguiar	Laboratorio - Jorge Lacerda
		Wherinton Cavalcanti	Laboratorio - Jorge Lacerda
5	ばい煙測定	Jose Lourival Magri	Planenamento - FLP
		Christiane R. Coelho	Setor Engenharia Ambiental - FLP
		Alexandre Thiele	Chefe Laboratorio - Jorge Lacerda
		Etilio Tuiscon Kich	Chefe Laboratorio - Charqueadas
		Luiz Henrique Lague	Laboratorio - Charqueadas
		Sergio Rios Martins	Laboratorio - Charqueadas
		Claudio Ludke Konradt	Laboratorio - Jorge Lacerda
		Jose Antonio da Rosa	Laboratorio - Jorge Lacerda
		Daniel Rolim Rodrigues	Laboratorio - Jorge Lacerda
6	化学分析	Alexandre Thiele	Chefe Laboratorio - Jorge Lacerda
		Etilio Tuiscon Kich	Chefe Laboratorio - Charqueadas
		Sergio Rios Martins	Laboratorio - Charqueadas
		Simone Menezes	Laboratorio - Charqueadas
		Rita Tissot	Laboratorio - Charqueadas
		Mozart Antunes Maciel	Laboratorio - Jorge Lacerda
		Gisan Vitoria da Costa	Laboratorio - Jorge Lacerda
7	数値解析	Jose Lourival Magri	Planejamento - FLP
		Alex Dias de Azevedo	Planejamento - FLP
		Christiane R. Coelho	Planejamento - FLP
		Ligia Bittencourt da Silva	Planejamento - FLP

CEEE チーム

	担当業務	名　前	所　属
1	総括	Sergio Ladniuk(96年まで)	Coordenador de Meio Ambiente - POA
		Claudio Krebs (96年以降)	同上
2	大気環境評価・モニタリング計画	Antonio Carlos Rossato	Coordenadoria de Meio Ambiente - POA
		Luiz Henrique Mengatto	Secao de Planejamento - Candiota
		Francisco Porto	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Plinio Slomp	Secao de Hidr. e Meio Ambiente - POA
3	ばい煙モニタリング計画	Francisco Porto	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Marines Ceolin	Secao de Meio Ambiente - Candiota
4	大気環境およびばい煙測定	Ciro Vitoria Pinto	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Plinio Slomp	Secao de Hidr. e Meio Ambiente - POA
5		Aquiles Indurski	Secao de Hidr. e Meio Ambiente - POA
		Lazareno Cardoso	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Marines Ceolin	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Eloa Maria Dhiel	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Renato Ferraz	Secao de Meio Ambiente - Candiota
6	化学分析	Francisco Porto	Secao de Meio Ambiente - Candiota
		Jose Manuel C. Pinheiro	Laboratorio Central - POA
		Harry Breier	Laboratorio Central - POA
		Nadir Salete Rodrigues	Laboratorio Central - POA
7	数値解析	Claudio Krebs	Coordenadoria de Meio Ambiente - POA
		Plinio Slomp	Secao de Hidr. e Meio Ambiente - POA
		Aquiles Indurski	Secao de Hidr. e Meio Ambiente - POA

1.2.4 調査業務概要

本調査は、表 1.2.4 に示す工程に従って遂行され、平成９年１０月に JICA へのファイナルレポート提出によって終了の予定である。調査は、図 1.2.1 に示すように現地調査と国内解析業務に大別されていた。それらの主要業務は以下のようであった。

1) 第一次現地調査：　着手報告書検討・業務開始の為のデータ・情報調査
2) 第一次国内解析：　必要機材の調達計画書の作成
3) 第二次現地調査：　大気・ばい煙測定開始
4) 第二次国内解析：　中間報告書作成(IT/R)
5) 第三次現地調査：　IT/R 検討・大気・ばい煙測定続行
6) 第三次国内解析：　拡散モデルの作成
7) 第四次現地調査：　JICA 機材の使用状態検査・拡散モデル使用技術移転
8) 第四次国内解析：　ドラフトファイナルレポートの作成

1.6 使用機材

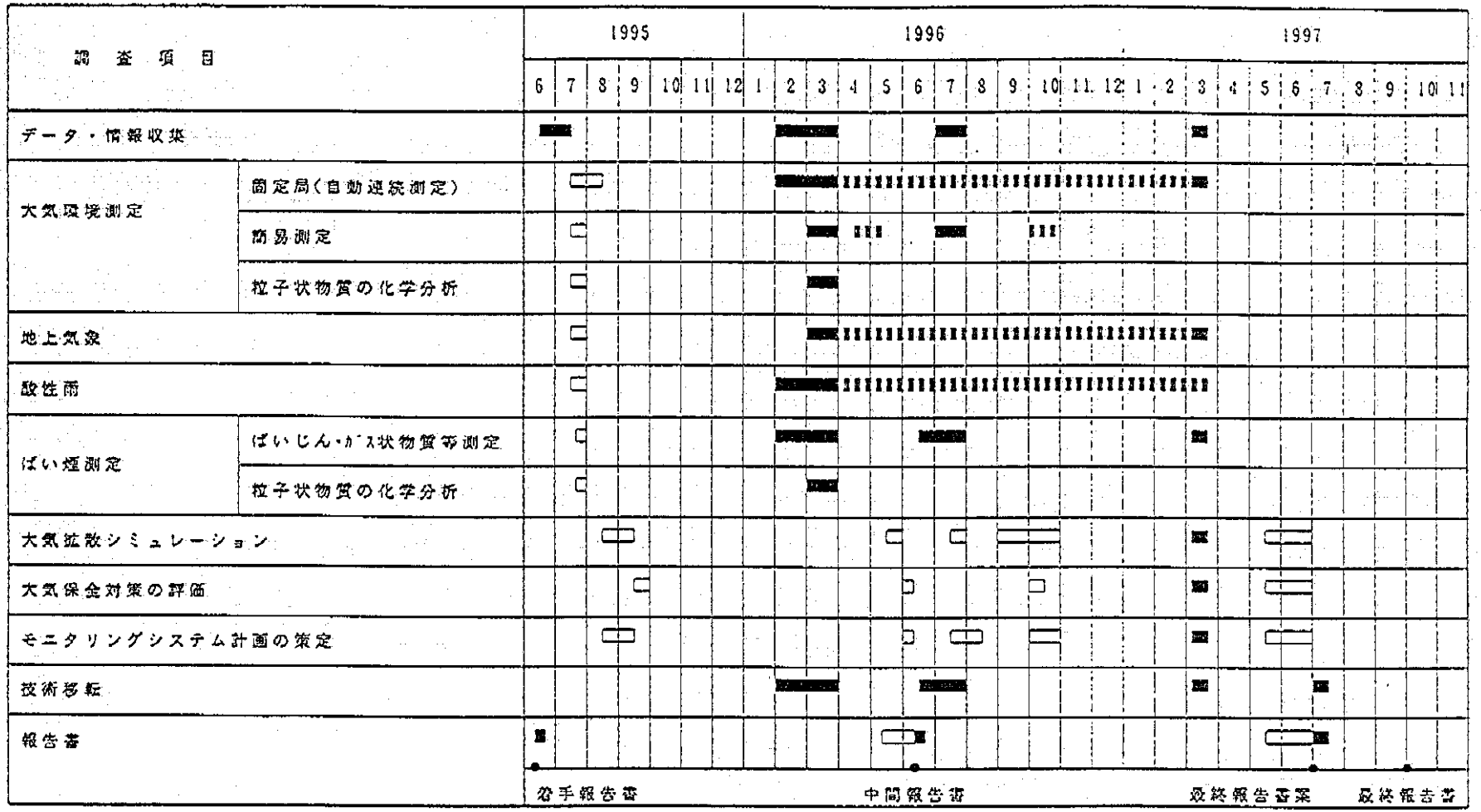
第一次現地調査で確認した相手側所有（別添 1-3）に加えて、別途必要となる資機材の調達計画を作成し（別添 1-4）、JICA より現地にて支給を受け、調査に使用した。この中には JICA による現地購入機材も含まれていた。

国内調達の大気環境 SO_2 自動測定装置は使用開始後６カ月にて光学フィルターに不都合が発生し、測定局によっては１～3 カ月の欠測を生じた。メーカにて再設計した代換え品と取り替え解決した。また、煙道ガス流速測定器の一台が原因不明で故障した。日本に持ち帰りメーカにて修理した。その間は他の機材を代用して測定に問題はなかった。

1.7 技術移転

現地での測定等は、ブラジル側の協力で実施した。本調査団は、実施の前に講義や OJT により、ブラジル側に技術移転を実施した。移転後は、JICA 機材はブラジル側のみにて運転、保守がなされた。技術移転の詳細については、中間報告書からの引用と新規追加を含めて別添 1-5 に述べた。

表 1.2.4　作業の全体工程



注：■■■ 現地調査
▮▮▮▮ カウンターパートだけによる現地調査
▭ 国内調査

第２章　ブラジル国の火力発電事業を巡る社会・経済状況

2.1　社会・経済現況と経済開発政策

2.1.1 ブラジル国の概要（#066, #067）

(1) 正式国名　ブラジル連邦共和国

(2) 位置・面積

位置：北緯 05 度 16 分 20 秒～南緯 33 度 44 分 32 秒

西経 34 度 47 分 30 秒～西経 73 度 59 分 32 秒

面積：8,511,965km²（我が国の約 22.5 倍）

(3) 地勢

ギアナ高原、ブラジル高原、アマゾン平地、パラグアイ平地、海岸平地に大別され、国土の約 60%は標高 200 メートル以上である反面、900 メートルを超える高地は約 3%にすぎない。最高峰はピコダネブリーナ(Pico da Neblina)山で標高 3,014 メートル。水量豊かな河川に恵まれ、これらは重要な交通手段をなしている。航行可能な河川は 4 万 4,000 キロに達している。特にアマゾン河は世界第 2 位の長河で、国内の流域面積 477 万 8,372 キロはブラジル国土の 56%を占める。サンフランシスコ河は全長 3,161キロ、中央高原とアトランチコ高原の間を流れる。パラナ河はイグアス等多くの瀑布があり、水力資源が豊富である。

(4) 気候

広大な国土のため、気候も各地方で異なっている。北部（アマゾン地帯等）は熱帯雨林気候、中部高原と海岸平野(ブラジリア、リオ等)は亜熱帯性気候、東北部の山岳地帯は半砂漠型乾燥気候、南部(サンパウロ以南)は温帯性気候である。年間平均降水量は乾燥地域の 700mm 以下から熱帯雨林地域の 3,000mm となっている。

(5) 人口　1 億 5900 万人（1995 年推定）

(6) 行政

４年制の大統領制であり、現在はカルドーゾ大統領である。ブラシリア首都圏を含めて２６州及び１連邦地区に分かれ、各知事と議会は直接選挙によって選ばれる。本調査対象地域の存在するサンタカタリーナ、リオグランデドスルの２州は最南端に位置している。

(7) 言語　ポルトガル語(公用語)

(8) 宗教

世界最大のカトリック国であり、国民の約90%がカトリック信者、プロテスタント信者は約7%である。

2.1.2 経済概況と経済開発政策 (#67, #68)

(1) 経済開放政策

ブラジル国連邦政府は融資の制限、高金利政策の保持、通貨幅の設置による為替政策の変更、及び輸入品の制限等により通貨安定を堅実に保持した。そして1994年7月1日には通貨をクルセードからレアルへ変更した。特に本政策は市場流動性の急激な低下をもたらし、工業生産の成長率を弱め、またインフレ上昇率をコントロールした。それにより年間インフレ率は1994年の 2,668.5% から1995年後半には23%に減少した(IMF 国際通貨基金より)。また本件の調査中の1995年6月にはドル・レアル為替レートがUS$1=R$0.895であったのが、1997年3月 にはUS$1=R$1.035と小幅な動きであった。

(2) 新通貨(レアル)導入後の動向

94年7月の新通貨(レアル)導入を機に、それまで月間2ケタ台(直前には40%～50%)で推移してきたインフレ率は急激に低下し、その後も低水準を維持し、95年通年では20%台前半に収まった。かかる成果は、93年12月に当時のカルドーソ蔵相(現大統領)が経済安定化計画(後に、新通貨の名称にちなみ「レアル・プラン」と称される)として打ち出してきた政府のこれまでの経済運営の結果であり、ブラジルに一大転機をもたらしたと言える。

金融・為替政策は、経済安定という観点から当面のブラジル経済の安定を維持する上で大きな柱となっている。ブラジル経済は92年第4四半期以降一貫して拡大基調にあり、とりわけ国内需要の急激な高まりを背景にレアル導入以後大きな伸びを維持していた。しかし政府の一連の金融引き締め措置により、95年下半期に入ると生産活動の落ち込みが顕著になるようになり、95年経済成長率は4.2%となったものの今後に不安を残している。

(3) ブラジル経済の特質

①ブラジル経済は、60年代から70年代にかけての高度経済成長により70年後半には中進国の仲間入りを果たした。

②しかしながら急激な工業化の結果、産業構造が著しく偏り、いわゆるサポーティング・インダストリーが未成熟のままに推移し、また主要な産業部門の主体が国営企業、一部の大民族資本、外資系企業に限定される等の独占・寡占体質が形成された。更に、対外債務支払いに加えて、それにあてる貿易黒字獲得のために輸出インセン

ティブが必要とされ、またコストアップにもかかわらず公共料金の相対的低価格政策で国営企業への財政補助支出が増加したことから、公共財政は慢性的赤字に悩まされることになった。

③ 90年代に入り、国営企業の民営化、輸入自由化等による経済の自由化・開放政策が目指されることになった。民営化については91年10月に第1号としてのウジミナス製鉄所が民営化された。同時に電力部門においても民営化が進められている。

④ 電力部門については、96年7月に、電力公社などの電力部門の民営問題を調整することを目的とした電力エネルギー庁の設置法案が下院を通過し、上院に回付された。なお電力公社については傘下の火力・水力・各5プラントやマナウス、ボリビスタ電力システムの民営化のためのコンサルタント業務の入札を96年7月末に行ったことが明らかとなった。

⑤ 現在ではGNP世界第10位(93年)とG7諸国を中心とする先進諸国に次ぐ地位を占めるに至っている。ブラジルのGNP及びGDPを表2.1.1に示す。広大な国土、豊富な地下資源及び豊富な労働力等の点に鑑みれば、その将来は無限な可能性がある。

表2.1.1 ブラジル国国民総生産及び実質国内総生産

	国民総生産	実質国内総生産
1993年度米百万ドル	４５８，５０４	５０７，３５３
1991年度米百万ドル	４４２，６９８	４０５，７７１
1995年度一人あたり米ドル	３，６４０	――――
1993年度一人あたり米ドル	２，９３０	３，２４２
1991年度一人あたり米ドル	２，９２０	２，６７７
1990年度一人あたり米ドル	２，６８０	――――
1983-1993年平均成長率	２．６％	２．２％
1980-1991年平均成長率	２．５％	２．５％

注：国内総生産の産業別比率(#055)農業 11%, 工業 37%, ｻｰﾋﾞｽ52%(1991 年度)(#046, #055, #056, #062)

2.1.3 ブラジル国のエネルギー埋蔵量

ブラジル国のエネルギー埋蔵量、消費量、生産量は表2.1.2に示すとおりである。エネルギー資源としては、水力の他、石炭、天然ｶﾞｽ、石油及びウラニウムが存在する。

表 2.1.2 ブラジル国エネルギー保有量、生産量、消費量（1994 年）

エネルギー	単位	確認埋蔵量	推定埋蔵量	総埋蔵量	年間消費量	年間生産量	総埋蔵/生産量
石油	10^3m^3	658,906	349,228	1,008,134	74,418	38,766	26
天然ｶﾞｽ	10^6m^3	146,476	86,915	233,391	5,136	7,756	30
ｼｪﾙｵｲﾙ	10^3m^3	445,100	9,402,000	9,847,100	n.a	n.a	n.a
石炭	10^6t	10,157	22,239	32,396	下記	下記	n.a
燃焼用石炭	10^6t	n.a	n.a	n.a	5.12	5.19	6,242
鉄鋼用石炭 *1)	10^6t	n.a	n.a	n.a	10.61	0.05	n.a
水力	GW 年	82.7	51.8	134.5*2)	n.a	28	4.8
原子力	U^{308}ﾄﾝ	192,540	108,950	301,490	0	0	n.a
泥炭	10^3t	129,330	357,960	487,290	n.a	n.a	n.a

注 1）鉄鋼用石炭は冶金属用としてほとんど輸入に頼っている。
2）渇水期における最大発電可能量
3）n.a = データなし

2.2 電力セクターの現状と国家政策

2.2.1 ブラジル国電力部門の現状

(1) 電力行政組織

ブラジル国の電力供給は、鉱山エネルギー省(MME)の国家水利電力局(DNAEE)の管轄のもと、ブラジル中央電力公社(ELETROBRAS)に委任されている。DNAEE は発電設備の計画、建設の許可、電気料金の決定など、電気事業の発送配電に関する規制・監督権限を有している。ELETROBRAS はブラジルの電力政策の実施機関として、発電・送電及び配電設備の計画、資金調達、実施計画の管理を行っている。

ELETROBRAS は全国を 4 地区に分け、ELETRONORTE、CHESF、FURNAS、及び ELETROSUL の直轄電力公社を傘下に置き、それぞれブラジル国の北部、北東部、南東部及び南部をカバーしている。ELETROSUL はパラナ、サンタカタリナ、リオグランデドスル (CEEE) 及びマトグロッソドスル州 を電力供給区域としており、地域内の発電と送電業務をおこなっている。各電力公社は、消費者及び発電事業を行っている各州の電力公社へ売電している。また ELETROBRAS により管轄されている国営発電所は売電はしていない。CEEE はリオグランデドスール州の州立電力公社である。

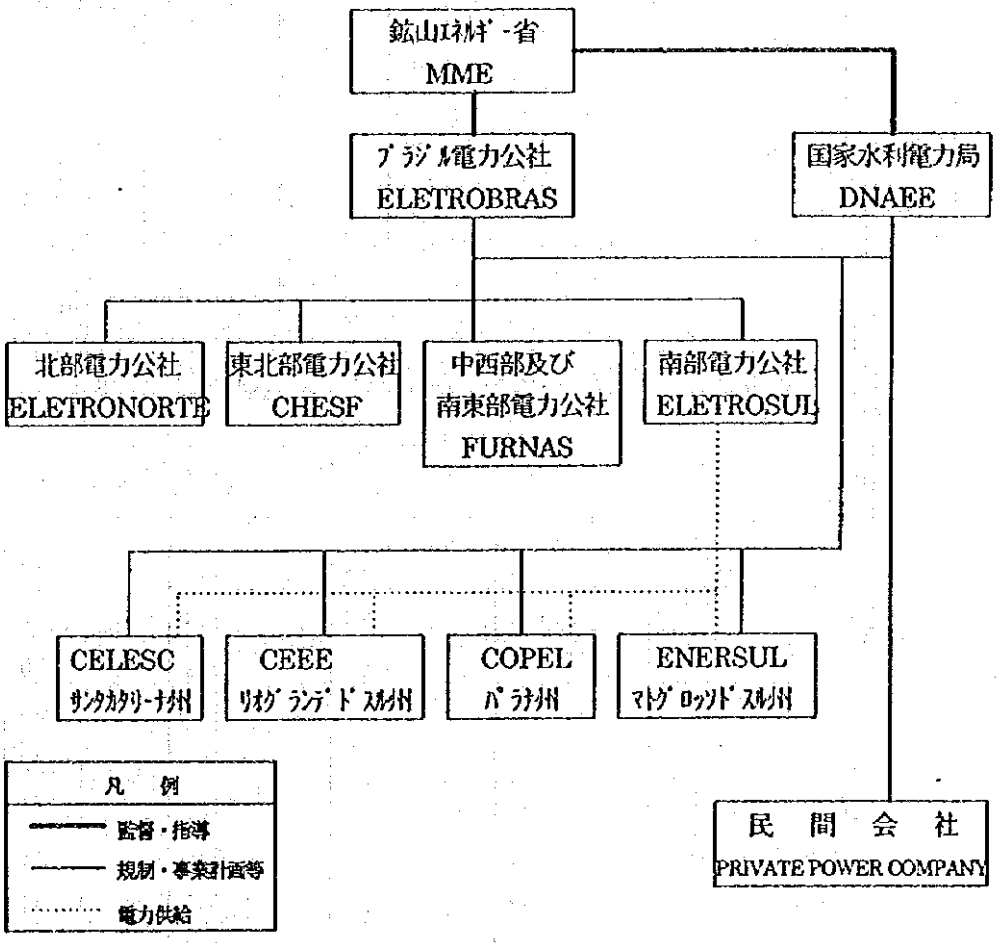


図 2.2.1 電力行政組織図

（本組織図では、本プロジェクトに関係しない州電力公社等を一部省略）

(2) 電力部門の現状

ブラジル国の発電電力量、消費量、及び各燃料別発電量はそれぞれ表 2.2.1、表 2.2.2 に示すとおりである。水力発電量はブラジル国の総発電量の 93%を占めている。表 2.2.3 は発電所の発電設備容量を示しており、ここでも大半が水力発電設備で 87%を占めている。表 2.2.3 に言及したイタイプ発電所はブラジル国とパラグアイ国の共同により建設された水力発電所である。ブラジル国は総発電量の 50%を消費する権利を有している。イタイプ発電所の発電設備容量は 12,600MW であり発電能力は 7,000GWh である。表 2.2.2 に示されている原子力発電所は 1984 年より運転開始され、過去の最大発電電力量は 1985 年の 3,381GWh であり、これは発電設備容量の 59%であった。年間平均負荷率は国営及び民営発電所の合計のうち 1994 年度で水力が 55.5%火力が 24.7%である。

表 2.2.1　ブラジル国発電電力量

単位：GWh(#050)

年	公営発電設備	民営発電設備	輸入量	輸出量	損失及び調整量	総消費量
1990	210,913	11,907	26,545	-7	-31,701	217,657
1992	228,711	13,020	24,022	-8	-35,273	230,472
1994	245,593	15,089	31,657	-0	-41,830	250,509

表 2.2.2　ブラジル国燃料別発電電力量（1994 年）（#050）

	公営発電設備		民営発電設備	
	GWh	%	GWh	%
天然ガス	0	--	416	2.76
石炭	3,105	1.26	214	1.42
木	0	--	921	6.10
バガス	--	--	2,348	15.56
黒液	--	--	1,807	11.98
その他廃棄物	--	--	1,752	11.61
軽油	1,841	0.75	319	2.11
燃料油	1,389	0.57	2,017	13.37
コークス	--	--	543	3.60
原子力	55	0.02	--	--
水力	239,203	97.40	3,714	24.61
その他	--	--	1,039	6.88
計	245,593	100.00	15,089	100

表 2.2.3　発電設備容量（1994 年）（#050）

	火力	原子力	水力	総計MW
公営発電設備	4,155	657	1)49,304	54,116
民営発電設備	2,900	0	624	3,524
総計 MW	7,055	657	49,928	57,640

注：1)イタイプ水力発電所の発電設備容量の半分を含む（総設備容量は 12,600MW）

(3) 本調査対象電力公社

ELETROSUL は ELETROBRAS の傘下にあり、CEEE はリオグランデドスル 州の電力公社である。 ELETROSUL 及び CEEE の総発電量は表 2.2.4 に示すとおりである。ELETROSUL は FURNAS(ELETROBRAS の傘下)とパラナ、サンタカタリーナ、リオグランデドスル(CEEE)、マトグロッソドスル州 の南部の 4 州立公社に売電をしており、そのうちの 36%は CEEE に売電している。

一方、CEEE は自社においても発電をしており、ELETROSUL から購入した電気とともに工業、商業、郊外及び住宅地区の需要者に供給しており、その供給量はリオグランデドスル州のほぼ 98%を占めている。1993 年度の供給量は 13,268GWh であった。(#036)

表 2.2.4　対象電力公社の発電電力量

	1993 年度発電設備容量				発電量(GWh)		
	石炭	石油	水力	総計	石炭&石油	水力	総計
ELETROSUL	554	66	2,602	3,222	1,787	13,469	15,256
CEEE	446	----	820	1,266	2,483	3,758	6,241

1)発電量について ELETROSUL(#051)は 1994 年度ﾃﾞｰﾀ、CEEE(#036)は 1993 年度ﾃﾞｰﾀ。
2)発電設備容量は(#036 及び#057)のﾃﾞｰﾀ。

上記２社は発電燃料のうち,かなりの量を石炭に依存しており、その点で他の発電公社とは異なる。

(4) 石炭発電

ブラジル国の石炭火力発電所は水力発電所の補完的な役割を担っているとともに、

石炭事業の維持にも貢献している。現在、ブラジル国の全エネルギー供給量に占める石炭の割合は 5%と低いものの、 電力需要の確実な伸びに伴い、今後火力発電用の燃料を主体として増加することが予想される。

ブラジル国の石炭埋蔵量及び生産量は表 2.2.5 に示すとおりである。ブラジル国全土の石炭埋蔵量は約 323 億トン、そのうち確認埋蔵量は約 171 億トンとみられている。
地域別にみると南部のリオグランデ゛ド゛スル州及びサンタカタリーナ州に集中している。パラナ州、サンパウロ州にも小規模の鉱山があるが、その埋蔵量及び生産量は非常に少ない。

別添 2-1 にブラジル国の石炭鉱山の産出量及び硫黄含有量を示す。硫黄分は選炭により減少するが発熱量が低いので、排ガス中の硫黄酸化物は、相当な濃度となる。1993 年の生産量は 470 万トンで、すべては国内消費されている。ブラジルの石炭の質は一般に灰分が多く、粘結度に欠ける低品位炭であり、主に燃料として使用されている。(#046, #049)

表 2.2.5 ブラジル国石炭量 (#053)

州	確認埋蔵量	推定埋蔵量	総埋蔵量		1993 年度生産量	
	10^6 トン	10^6 トン	10^6 トン	%	10^3 トン	%
ｻﾝﾊﾟｳﾛ	4.50	4.00	8.50	0.03	n.a	--
ﾊﾟﾗﾅ	101.54	2.65	104.19	0.32	155.18	3.3
ｻﾝﾀｶﾀﾘｰﾅ	2,321.60	1,041.40	3,363.00	10.42	2,102.63	44.6
ﾘｵｸﾞﾗﾝﾃﾞﾄﾞｽﾙ	14,644.14	14,159.30	28,803.44	89.23	2,452.46	52.1
総　計	17,071.78	15,207.35	32,279.13	100.00	4,710.27	100.0

1994 年のブラジル国のエネルギー総合計消費量は 199,134,000 石油換算トンであり、そのうち 1,938,000 石油換算トンが石炭火力発電に供給され、その数値は 1994 年度 (#050) で 1 %に満たないものであった。石炭は、将来の発電燃料として、また電力需要の確実な伸び、水力発電の水源開発の難しさ、雨不足に伴う電力安定供給がむずかしいことから、今後さらに消費されることが予想される。リオグランデドスル州がブラジル全体の石炭埋蔵量の内の 89%を占めており、同州では石炭の発電に占める割合を 55%に増大させることを計画している (#052)。

石炭採掘はその近隣の地域の住民にとって最大の収入源である。またリオグランデドスル州鉱山公社はカンジオッタ化学工業企業体の開発に民間部門の参入を予定している。カンジオッタには約 30 億トンの石炭が埋蔵され、月に 200,000トンの石炭が露天掘に

て産出されている。

(5) 天然ガス発電

リオグランデドスル州はすでにアルゼンチン国営石油公社 YPF と、アルゼンチンとリオグランデドスル州の境界線を通り、ウルグアイアナ市に至る 440km の天然ガスパイプラインの建設プロジェクト計画に合意した。またリオグランデドスル州政府はウルグアイナ市にて、民間企業により出力 316MW(又は 450MW のコンバインドサイクル) 天然ガス発電所の建設及びその運営の権利を取得しようとしている。

天燃ガスは工業用、公共用として、サンパウロからリオグランデドスル州の首都ポルトアレグレまでのパイプラインにてボリビアからも供給されようとしている。

2.2.2 電力部門の国家政策

(1) 発電設備拡充計画

ELETROBRAS は 1992 年に 1993 年から 2002 年までの 10 ヶ年(1993-2002 年) の設備拡充計画を明らかにした。この設備計画では消費電力量の年間伸び率が 1992 から 1997 年の間で 5.5%、1997 から 2002 年までで 5.7%と想定されている。この計画をもとに発電設備計画が鋭意進められているが、昨今の資金不足、国際金融機関からの借款供与の中断等の影響により計画はかなり遅れている。

(2) 電力公社の民営化

ブラジル国の独占政策は、競争の原理である市場が価格及び品質を決定する、という経済の実態からの需要に対しもはや機能しなくなっている。連邦政府は多分野を民営化しはじめており、電力分野もその例外ではない。大規模な改革が予想されている。鉱業エネルギー省はブラジル国の電力分野の変革を進めるべく国際コンサルタントを参入させることを計画している。

リオグランデドスル州議会は CEEE の株式のうち 49%を民間企業に移管することを承認した(#052)。CEEE は民間移管後の体制、州政府の経営権の確保等を検討している。カンジオッタ III (新しい発電所) に関しては、州議会の決定により CEEE は株式の 33% を民間に移し、その他の 33%を ELETROBRAS が所有し、残りを CEEE が保有することとしていたが、現在はコンソーシアムの入札(1996 年 8 月締め切り)への民間企業の参加がないため、入札締め切り期限を延長中である。CEEE は民営化方策を次のように検討している。

1 火力発電所：民間会社、MME(ELETROBRAS 又は ELETROSUL)及び州(CEEE)で分割所有。
3 配電部門　：2 部門は民間に売却、1 部門は州営。
CEEE は 1 水力発電所、1 送電部門を継続営業し、株式の 51%を所有、残りの 49%を売却することとし、経営権を保持することとしている。

ELETROSUL はジャクイ火力発電所の建設に当たっては、民間資金(アメリカ企業等)を導入し、新しく設立される会社(JACUI GENERATING COMPANY)から 20 年契約で電気を購入することとしている。

第３章　大気保全に係わるブラジル国の政策

3.1　環境政策

3.1.1 ブラジル国の環境政策

ブラジルに於ける環境政策の根本は、1992 年主催国となった国連環境会議で宣言された如く、持続ある開発への挑戦である。

ブラジルでの環境関連条例の制定は 1973 年に遡る。主に環境基準及び範囲に重点を置いた米国 USEPA の条例等をモデルとした。同時に内務省内に環境国家特別事務局を設置した。そして 1974 年にいくつかの州に州環境保全局(SEPA$_S$)が設置された。

国家環境体制はしばしば改変された。1981 年に連邦政府は、国家環境プラン(PNMA)、国家環境システム(SISNAMA)を設立し(法 6.938/1981)、1984 年には、それを監督すべく、国家環境評議会(CONAMA)が設立され、各種の基準等を整備した。また 1988 年には、いくつかの連邦機関が統合され、ブラジル環境資源研究所(IBAMA)となった。IBAMA の役割は各州を監督し、また主に資源の管理、保全をすることを目的としている。1989 年には新憲法の発行の直後に“我が自然”という運動が開始され、工業化や自然雨林の消滅などによる環境悪化を立ち向かい始めた。1994 年には、環境・水資源・アマゾン保護省(MMA)が設立され、IBAMA はその一部門を担っている。

連邦法体系は、環境に対する総合的な指導、大気物質の定義及び最小限の規制、懲罰の制定を実施すべく構築されている。本連邦法では、各州がそれぞれ汚染基準を厳しく定め、州の条例を発布する権限を与えている。許認可、モニタリング、懲罰等を含む大半の監督、法規制の実施は州政府が委任されている。しかし各州の庁にて判断できない場合には、連邦局である IBAMA が介入することになっている。

3.2 大気環境に関する法規制

3.2.1 大気環境に関する環境基準

ブラジル国連邦政府が定めた大気質の環境基準(CONAMA003)(1976 年 4 月規則第 231 号及び 1990 年 6 月決定第 3 号)(#01)は表 3.2.1 に示す通りである。ここで言う大気質の環境基準とは、それを超えれば住民の健康、安全及び福祉に影響を及ぼし、更には動植物の生育環境及び一般環境に損害をを引き起こす可能性がある大気汚染物質の濃度とされている。

表 3.2.1　大気質の環境基準

（単位：μg／m³）

汚染物質	評価時間	第一次基準	第二次基準	測定方法
全浮遊粉塵	年間幾何平均濃度 24時間平均濃度	80 240	60 150	ﾊｲﾎﾞﾘｭｰﾑ・ｴｱｻﾝﾌﾟﾗｰによる測定方法
スモーク	年間算術平均濃度 24時間平均濃度	60 150	40 100	反射率法
吸入性粉塵	年間算術平均濃度 24時間平均濃度	50 150	50 150	慣性分離・濾過法
二酸化硫黄	年間算術平均濃度 24時間平均濃度	80 365	40 100	ﾊﾟﾗﾛｻﾞﾆﾘﾝ法
一酸化炭素	8時間平均濃度 1時間平均濃度	10,000 40,000	10,000 40,000	非分散赤外線吸収法
オゾン	1時間平均濃度	160	160	ｹﾐﾙﾐﾈｯｾﾝｽ法
二酸化窒素	年間算術平均濃度 1時間平均濃度	100 320	100 190	ｹﾐﾙﾐﾈｯｾﾝｽ法

注 1)ここに示す濃度を年に1回を超えて上回ってはならない。

2)第一次基準とは、それを超えると住民の健康に影響を及ぼす可能性がある大気汚染物質の濃度であり、短期、中期目標である。

3)第二次基準とは、それ以下であれば住民の福祉、動植物の生育環境及び一般環境への損害が最低限しか予想されないような大気汚染物質の濃度である。

4)測定方法は本表に示した方法、又はそれと同等の方法とする。

各州は基準となる地域を指定する権限がある。実際には、発電所周辺に於ける大気質の排出基準は、第一次基準が適用されおり、1996年6月時点で、第二次基準が適用された指定地域はない。

サンタカタリーナ州ではTSP測定に24時間、6日間連続測定を定めている。連邦政府では特に定めていない。

また、大気汚染による危険事態に対する大気質の水準は表3.2.2(#01)に示す通りである。危険事態とは、汚染物質の汚染物質の拡散に不利な気象条件が発生した結果として、短時間に高濃度が出現する場合をいい、各汚染物質の濃度と気象予報等の要因をも考慮のうえ決定される。危険事態の判断には注意、警戒及び緊急事態の3つの水準が定められている。緊急時の水準は、24時間にわたって汚染物質の拡散に不利な気象条件が予想され、以下に列挙する条件の一つ以上が出現する場合に宣言される。

緊急事態が宣言された場合は、大気環境濃度の改善を図るため、州の環境機構等から、各公社、企業へ生産量の削減や良質燃料への切り替え等による汚染質排出量の削減を要請することとなる。

なお、参考のため、ブラジル国、日本の環境基準、世界銀行(WB)及び世界保健機構(WHO)のｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝの環境基準の比較を別添3-1に示した。

表3.2.2　緊急時の措置のための水準

(単位：μg／m³)

汚染物資名	評価時間	注意水準	警戒水準	緊急水準
全浮遊粉塵(TSP)	24時間平均濃度	375	625	875
ｽﾓｰｸ(Smoke)	24時間平均濃度	250	420	500
吸入性粉塵(TP)	24時間平均濃度	250	420	500
二酸化硫黄(SO_2)	24時間平均濃度	800	1,600	2,100
一酸化炭素(CO)	8時間平均濃度	17,000	34,000	46,000
オゾン(O_3)	1時間平均濃度	400	800	1,000
二酸化窒素(NO_2)	1時間平均濃度	1,130	2,260	3,000
TSP×SO_2	24時間平均濃度	65,000	261,000	393,000

3.2.2 ばい煙の排出基準

(1) ブラジル国のばい煙の排出基準

連邦政府が定めた新設の固定発生源における汚染物質の排出基準(CONAMA008)(1990年12月決定第8号)(#02)は、表3.2.3に示すとおりである。火力発電所等の固定発生源の排出基準は、施設の規模、地域分類及び燃料種別に分けられており、発電量当たりの汚染質排出量で表示されている。

なお、地域分類は1989年制令第5号(#03)により、用途別に以下のように区分されている。

第一種地域：国立公園、州立公園、生態系保存地域、鉱泉地及び熱帯水域のような保護、ﾚｼﾞｬｰ観光地域。これらの地域では、人間活動による影響がない状態にできる限り近い水準に、大気質は維持されなければならない。
第二種地域：大気質の悪化水準が第二次基準によって制限される地域。
第三種地域：大気質の悪化水準が第一次基準によって制限される開発地域。

表 3.2.3　汚染質の排出基準(#02)

施設規模	70MW 以下設置 地域分類		70MW 以上設置 地域分類		備考
項目・単位	第 I 種	第 II・III 種	第 I 種	第 II・III 種	
全ばい塵(TSP) (g/10⁶Kcal)	120	350(石油) 1500(石炭)	新規設置不許可*2)	120(石油) 800(石炭)	
ｽﾓｰｸ色度 (%)	20*3)	25*3)		20*3)	ﾘﾝｹﾞﾙﾏﾝｽｹｰﾙ
二酸化硫黄 (g/10⁶Kcal)	2,000	5,000		2,000	
燃料油消費限度：(t/年)	3,000*4)	-----		----	

注釈 1)70MW 以上の固定発生源は第一種地域への設置はできない。

2)大気汚染を生じる経済活動は大気質が保全されている地域では不可である。示された排出値は大気質が保全されている地域：ﾚｼﾞｬｰ観光地、鉱泉地及び温泉地等のみに許可されている。

3)固定発生源の清掃作業時、設備の点検時を除く。

4)年間 3,000ﾄﾝ以上を上回る燃料油の消費及びその他燃料の燃焼については州環境機関の承認が必要。

(2) 本調査対象発電所の排出基準

CONAMA の排出基準は新・増設の火力発電設備に適用される。対象の 3 石炭火力発電所の既設設備とともに、排出基準発行時には建設許可を得ていた新増設ユニットとも、CONAMA の排出基準は適用除外となっている。

しかし、FATMA, FEPAM は新・増設発電設備の運転許可の条件として、大気汚染を未然に防止することを目的に、新・増設設備の他、既設設備についても、全ばい塵、窒素酸化物、二酸化硫黄について CONAMA の基準より厳しい排出基準を適用している。対象発電所の排出基準は表 3.2.4 に示すとおりである。

シャルケアーダス及びカンジオッタに対する排出基準が、より設備容量の大きい新増設設備より厳しい基準が適用されることになっている。法や基準が新たに制定され、または改正された場合、既設設備に対しては適用除外あるいは当分の間猶予とし、猶予期間内に改善することとするのが当然であろうし、またその基準は新設設備と同じ基準であるか、それよりも緩い基準としているのが通例であろう。古くて小規模の設備は、改造のためにコスト高となり、また効率も大型に比べて低いので、既設設備に対して新設設備より厳しい排出基準(濃度基準)を適用することは疑問が残る。

周辺の大気環境への汚染質の影響は、煙突からの排出濃度ではなく、単位時間当たりの排出量に依存する。一般的には低濃度であっても大規模設備であればその影響は大きく、また高濃度であっても小規模設備であればその影響は小さい。故に、より大型の新設設備の排出基準を厳しくしたほうが設備コスト面で有利であり、また大気環境への影響も少なくできるものと考える。

表 3.2.4 対象発電所の排出基準

発電所名		ユニット	号機	定格出力(MW)	CONAMA の基準 TSP	CONAMA の基準 NOx	CONAMA の基準 SO_2	FATMA, FEPAM＊の基準 TSP	FATMA, FEPAM＊の基準 NOx (NO)	FATMA, FEPAM＊の基準 SO_2	備考
ｼﾞｮﾙｼﾞｭ・ﾗｾﾙﾀﾞ	既設	A I	1 2	50 50	適用除外			全ﾕﾆｯﾄ定格出力でS分2.2%の石炭を燃焼する時に発生する SO_2 量以下			1997年1月現在
		A II	3 4	66 66							
		B III	5 6	125 125							
	増設	IV*	--	350							
ｼｬﾙｹｱｰﾀﾞｽ	既設	——	1 2 3 4	18 18 18 18	適用除外			80mg/m³N	400mg/m³N	400mg/m³N	2005年以降
ｼﾞｬｸｲ	新設	I *	—	350				140mg/m³N (280MW時) 85mg/m³N (175MW時)	680mg/m³N	1500mg/m³N	商業運転時
ｶﾝｼﾞｵｯﾀ	既設	A	1 2	63 63	適用除外			80mg/m³N	400mg/m³ N	400mg/m³N	2004年以降
		B	1 2	160 160				未定	680mg/m³N	2100mg/m³N	2002年 以降
	増設	III *	--	350				265mg/m³N (280MW時) 100mg/m³N (158MW時)	未定	2000mg/m³N	商業運転時

(＊O_2＝ 6%)

なお、残存 O_2 濃度 6%で排ガス量約 1,600m³N に相当するので、CONAMA 基準(表 3.2.3)の TSP 800g/10⁶Kcal は 500mg/m³N、SO_2 2,000g/10⁶Kcal は 1,250mg/m³N になる。正確な排ガス量は石炭成分組成、燃焼空気量(残存酸素量)から決まる。

参考として、ブラジル国、日本と世界銀行の石炭燃焼の排出基準を別添 3-2 に示す。

第４章　環境大気の現状とその評価

4.1　気象

4.1.1　測定方法

ＪＩＣＡ調査団は各地域毎に１地点で放射収支量の測定を行い、風向・風速及び日射量についてはカウンターパートが測定したデータを使用した（表 4.1.1)。気象観測局の位置は自動連続測定局等と共に図 4.2.1 に、ＪＩＣＡ機材及び既存の機材は別添 1-3, 1-4 に示した。測定期間は１９９６年３月から１９９７年２月の１年間であり、全ての測定値は１時間値として整理した（別添 4-1)。

表 4.1.1　気象観測局及び測定項目

発電所名	放射収支量	風向・風速、日射量
ジョルジュラセルダ	Capivari	Power Plant
シャルケアーダス	DEPREC	Jacui
カンジオッタ	Airport	Airport

注：Airport（カンジオッタ）の日射量は異常値と判断して採用しなかった

4.1.2　気象の特性

ジョルジュラセルダではカーム出現頻度が 11.5%と高く、平均風速は 2.0m/s と３地域の中で最も風が弱い。最も風の強いのはカンジオッタであり、カーム出現頻度は 3.7%、平均風速は 3.4m/s である。シャルケアーダスの風の強さは両者の中間であり、カーム出現頻度は 7.0%、平均風速は 2.3m/s である。　最多風向はジョルジュラセルダでは東風であり頻度は 12.0%、シャルケアーダスでは南東風の 25.5%、カンジオッタでは東風の 15.5%であり、シャルケアーダスの南東風は特に頻度が高かった（図 4.1.1)。月別風配図は別添 4-2 に示した。

風速階級別出現頻度の最も高い階級は、ジョルジュラセルダとシャルケアーダスでは 1.0～1.9m/s、カンジオッタでは 4.0～5.9m/s であり、カンジオッタでかなり風速の大きい風の頻度が高い点が特徴的である（図 4.1.2)。

風速と日射量・放射収支量から大気安定度を推定した。　ただし、カンジオッタでは日射量データが異常値と判断されたことから風速と放射収支量による推定方法によった。大気安定度の推計方法は別添 4-3 に示した。全般的な特徴としては強安定（G）や不安定（A～B）の頻度が高いことが挙げられる。これらの中、不安定の頻度が高いことは発電所等の高煙源の影響が地上に及ぶ可能性が高いことを意味する。　不安定の頻度はジョルジュラセルダで 19.4%、シャルケアーダスで 18.3%、カンジオッタで 13.3%と、ジョルジュラセルダで最も

高かった（図 4.1.3）。

風速、日射量及び放射収支量の日変化パタンは、３地域共、昼間に値が高くなる通常のパタンを示す。風速の月変化パタンでは明確な季節変化は見られず、日射量は夏に高く、冬に低い傾向を示した（別添 4.4）。

以上のことから、最も風が弱く、不安定の出現頻度の高いジョルジュラセルダが、大気汚染の発生しやすい気象条件であり、カンジオッタは最も風が強く、不安定の頻度が低いことから大気汚染の起こりにくい地域である。

4.2 自動連続測定

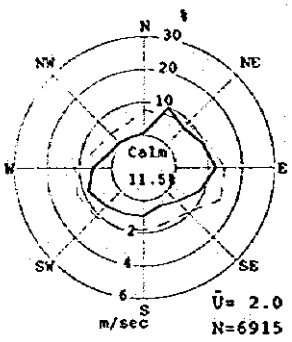
4.2.1 測定方法

各発電所周辺毎に３局の自動連続測定局を設置し、３局全てでSO_2を、中１局でNO_x（NO，NO_2）を測定した（表 4.2.1、図 4.2.1）。SO_2の測定方法は赤外線吸光度法、NO_xは化学発光法である。測定機材の詳細は別添 1-4 に示した。

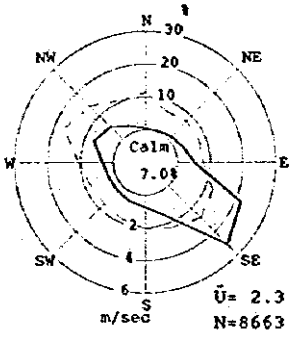
表 4.2.1 自動連続測定局の測定項目

発電所名	測定局名	測定項目
ジョルジュラセルダ	Capivari	SO_2, NO_x
	Vila Moema	SO_2
	Sao Bernardo	SO_2
シャルケアーダス	DEPREC	SO_2, NO_x
	Jacui	SO_2
	Arranca Toco	SO_2
カンジオッタ	Airport	SO_2, NO_x
	Candiota III	SO_2
	Tres Lagoas	SO_2

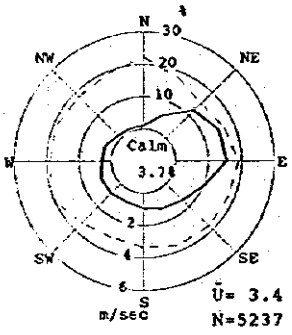
LACERDA



JACUI



CANDIOTA

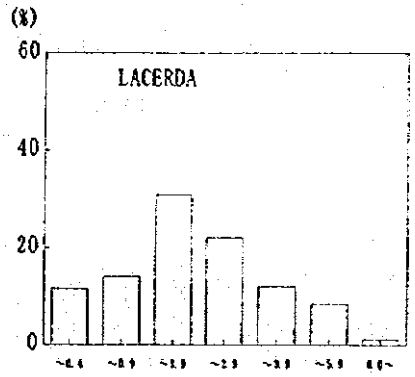


——— Frequency of Wind Direction
- - - Average of Wind Spood
Calm: Less than 0.5 m/sec
U=: Ave. of wind speed (m/sec)
N=: Number of sample

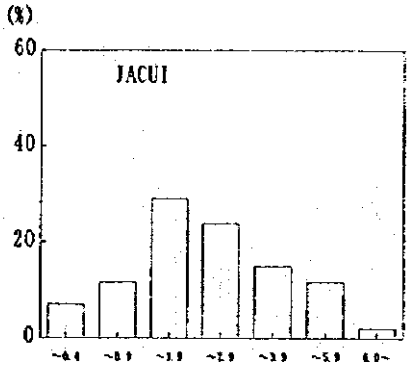
図4.1.1 年間風配図

Year: 1996 (Mar. to Feb.)

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

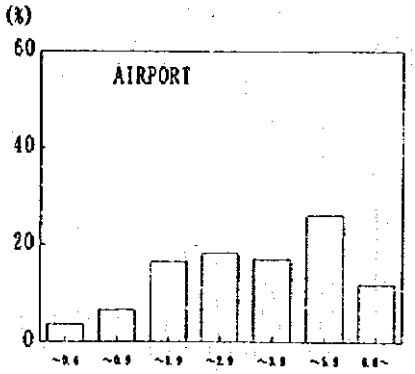
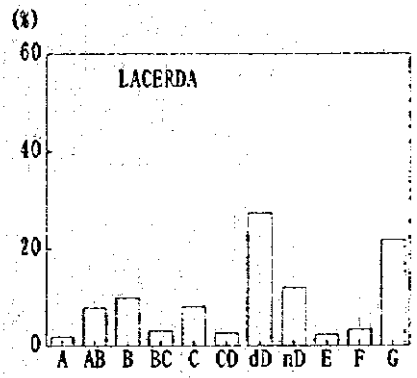
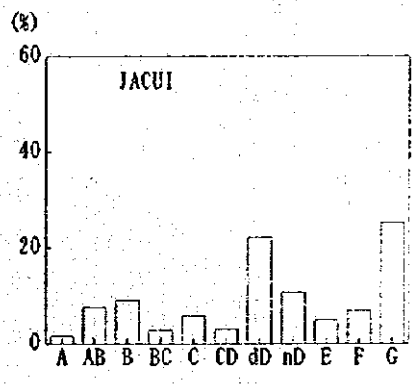


図 4.1.2　風速階級別出現頻度　　Year 1996 Mar to 1997 Feb

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

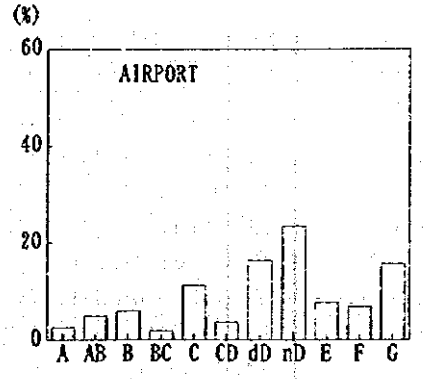
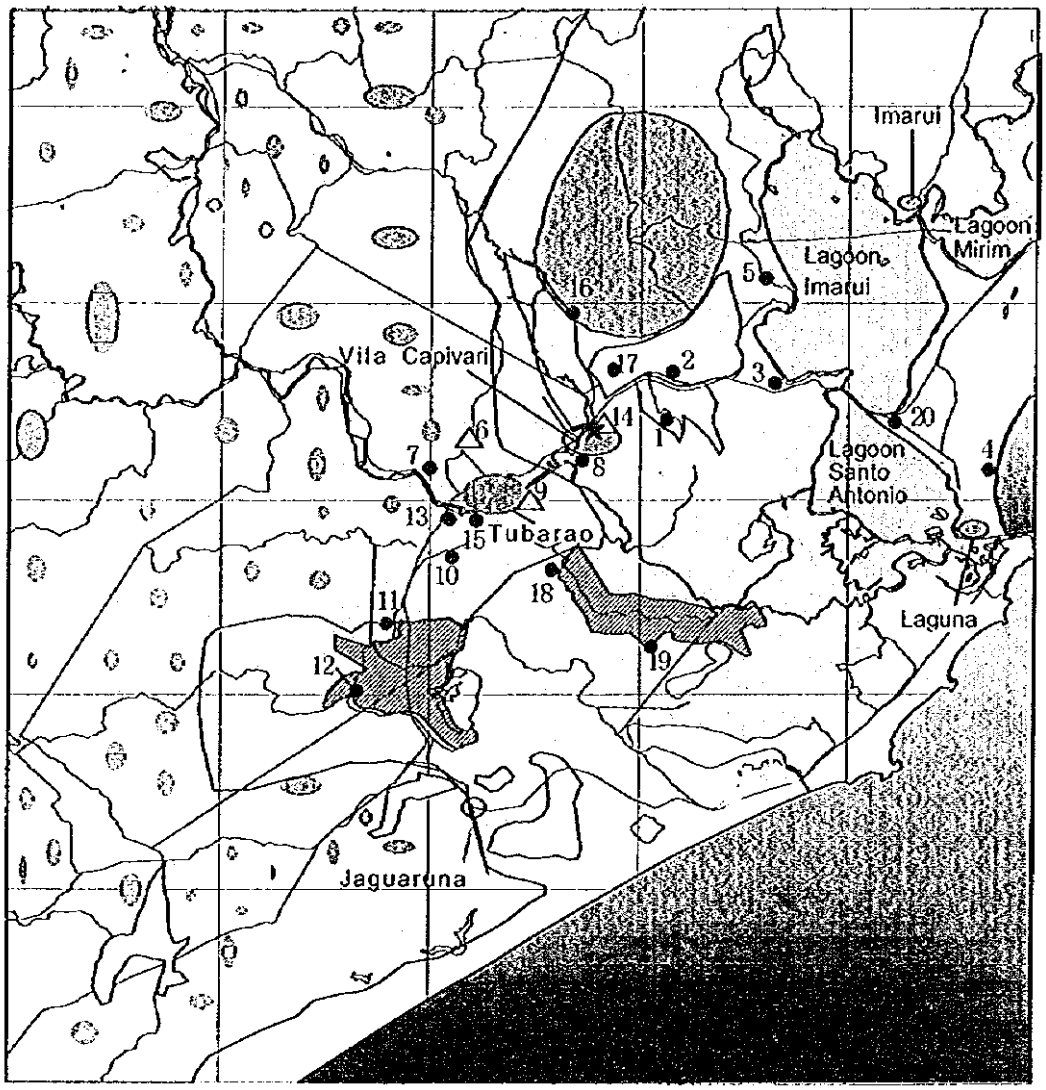


図 4.1.3 大気安定度出現頻度

Year 1996 Mar to 1997 Feb



★:Power Plant

△:Automated Continuous Monitoring Stations

●:Simple Monitoring Stations

0 10 (km)

Code	Station Name	Code	Station Name
1	Banhado da Estiva	11	Escola Jose Botega
2	Igreja de Sao Sebastiao	12	Estrada Geral Treze de Maio
3	Campo dos Bandeirantes	13	Colegio Gallotti
4	Turist Hotel	***14***	***Capivari***
5	Ribeirao da Pescaria Brava	15	Oficians
6	***Sao Bernardo***	16	Ilhota Grande
7	Domingo Saviatto/Ceramica	17	Cachoeira Segunda
8	Pasto do Gado RFFSA	18	Escola Cristina Avila Wendhausen
9	***Vila Moema***	19	Lactuba
10	Monte Castelo	20	Cabecudas

Note: Stations in bold & italic letters are simply and continuously monitored.

Forest

Agricultural

Paddy field

mangrove

marshy area

Village and Town

図4.2.1(1) 測定局配置図（ジョルジュラセルダ）

☆ :Power Plant

△ :Automated Continuous Monitoring Stations

● :Simple Monitoring Stations

0 10(km)

Forest

Paddy field

Fruits farm

Lake

Rio Jacui

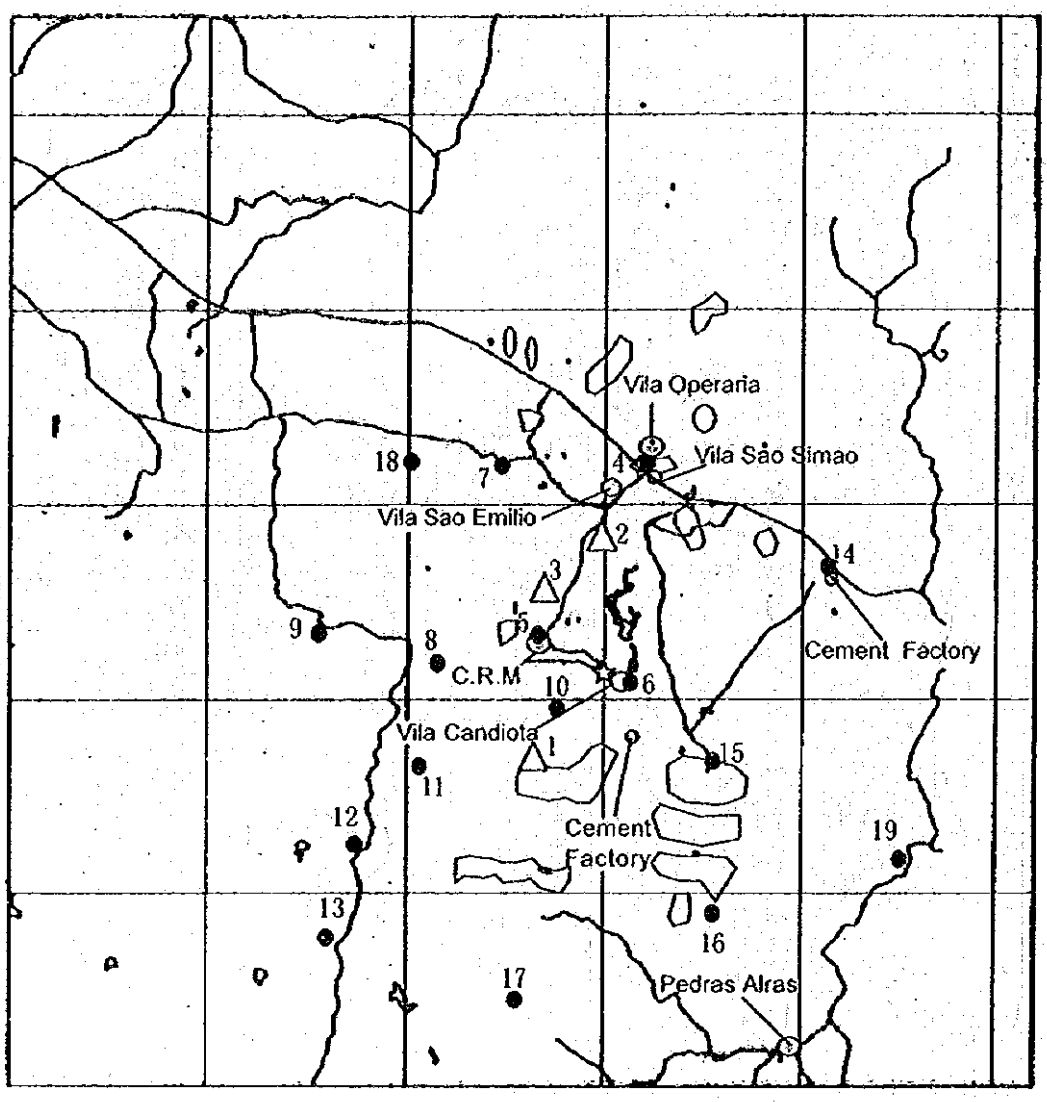
Marshy area

Village and Town

Code	Station Name	Code	Station Name
1	***OBJA (Jacui)***	11	CORSAN
2	***Arranca Toco***	12	Adi Campos Cornelio
3	***DEPREC***	13	Jose Manoel
4	Antonio Camboim	14	Gilberto Kuball
5	Escola Barao do Jacui	15	Fazenda Capororca
6	Otoli Panta	16	COPELMI
7	Escola Vasconcelos Jardim	17	Pedro Ferreira
8	Telomo Machri	18	Penitenciaria Est. do Jacui
9	Escola Afonso M. Coelho	19	Inelio da Rosa
10	Hospital Sao Jeronimo	20	Fernando Kroeff

Note: Stations in bold & italic letters are simply and continuously monitored.

図4.2.1(2)　測定局配置図（シャルケアーダス）



☆ :Power Plant

△ :Automated Continuous Monitoring Stations

● :Simple Monitoring Stations

0 10 (km)

Code	Station Name	Code	Station Name
1	***Tres Lagoas***	11	Passo do Tigre
2	***Airport***	12	Barao do Itaqui
3	***Candiota III***	13	8 de Agosto
4	Brigada Militar	14	CORSAN
5	Lago	15	Joao Geraldino
6	E.T.A. Colegio	16	Pedras Atlas
7	Igreja	17	D. Pedro II
8	Passo do Arroio	18	Jose Otavio
9	Hulha Negra	19	Pinheiro Machado
10	Tunel	20	Acegua

Note: Stations in bold & italic letters are simply and continuously monitored.

Agricultural

Village and Town

Cement Factory

図4.2.1(3) 測定局配置図（カンジオッタ）

4.2.2 自動連続測定による環境濃度の特性

(1) 環境基準との比較

表4.2.2にSO_2とNO_2の年平均値、日平均値及び時間値の最高値を、また、各測定局・測定項目の累積度数分布は別添4-5に示した。

表4.2.2 自動連続測定結果

Item / Station	SO_2			NO_2		
	Average	Daily Max.	Hourly Max.	Average	Daily Max.	Hourly Max.
Capivari	6.1	35	336	5.7	11	44
Vila Moema	8.0	54	322	-	-	-
Sao Bernardo	5.2	63	438	-	-	-
DEPREC	1.9	11	120	3.0	11	37
Jacui	3.7	18	108	-	-	-
Arranca Toco	6.1	39	173	-	-	-
Airport	3.5	17	182	1.4	7	20
Candiota III	4.5	27	113	-	-	-
Tres Lagoas	4.2	16	129	-	-	-
Standard	30.56	139.44	-	53.15	-	170.08

単位：ｐｐｂ

SO_2年平均値の最も高かった局はジョルジュラセルダのVila Moema局の8.0ppbであり、日平均値の最大値が最も高かったのはジョルジュラセルダのSao Bernardo局である。全般的にSO_2濃度はジョルジュラセルダが最も高い傾向を示した。しかし、いずれの最高値も国の第１級環境基準、SO_2の年平均値（80$\mu g/m^3$=30.56ppb）と２４時間値（365$\mu g/m^3$=139.44ppb）を大きく下回っている。

NO_2年平均値と時間値の最高値の最も高かったのはジョルジュラセルダのCapivari局である。ジョルジュラセルダとシャルケアーダスはほぼ同じレベルの濃度であり、カンジオッタは２地域よりも濃度が低い。NO_2の最高値も年平均値（100$\mu g/m^3$=53.15ppb）と時間値（320$\mu g/m^3$=170.08ppb）の第１級環境基準を大きく下回っている。

ＴＳＰのハイボリュームサンプラーによる測定は、カウンターパートによって、ジョルジュラセルダとシャルケアーダスで３地点、カンジオッタの１地点で行われた。ジョルジュラセルダのCapivari局では一年間に３回の測定がＴＳＰの２４時間値の第１級環境基準（240$\mu g/m^3$）を超えた。各地域の測定データは別添4-6に示した。

(2) 時系列変化の解析

SO_2の時刻変化は昼間に濃度が高くなる一山型であり、大気が不安定な昼間に濃度が高くなることから発電所などの高煙源からの影響の可能性が強い。つまり、高煙源からの影響は地上に達するが、自動車などの低煙源の寄与は希釈されて弱められている。Vila Moema の夕方の小さな山については他の低煙源の影響が加わっている可能性が考えられる（図 4.2.2)。

NO_xの時刻変化は朝・夕にピークのある二山型であり、自動車交通のパタンとの関連を示している。相対的に発電所の影響は小さいものと推測された。この傾向は特に Capivari 局で顕著である（図 4.2.3)。

SO_2の月変化は局により異なっており共通した傾向は明らかでないが（別添 4-7)、NO_xの月別濃度は冬に高い傾向を示し、この結果もNO_xの主要汚染源が低煙源であることを示唆している（図 4.2.4)。

(3) 気象要因との関係解析

環境濃度と気象要因との関係を解析するために風向別平均濃度図と大気安定度別平均濃度図を作成した。

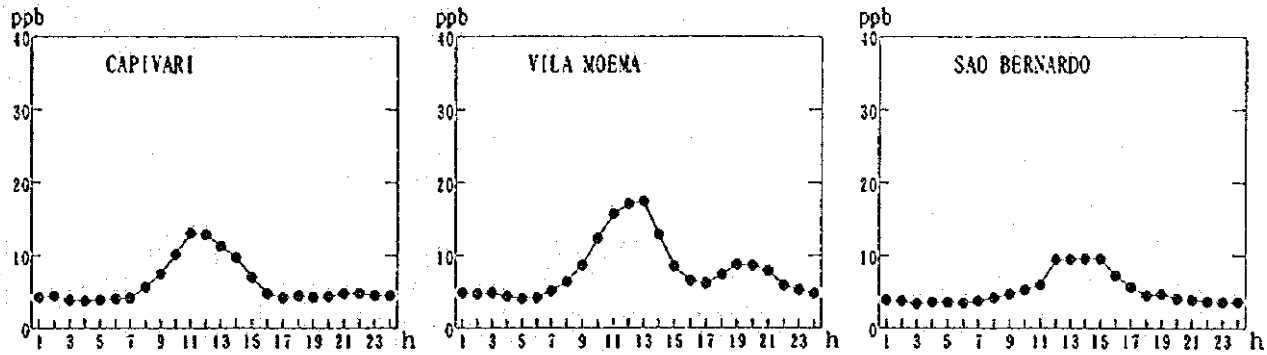
SO_2の風向別平均濃度の解析では、カンジオッタでは、濃度の絶対値は低いものの、風向別の高濃度の風向きが発電所の方向と一致していた（別添 4-8)。この傾向はジョルジュラセルダでは明確でなかった。これはカンジオッタの自動連続測定局では、他の発生源に比較して、相対的に発電所の寄与が大きく、ジョルジュラセルダでは発電所以外の発生源が存在することを示唆している。

SO_2の大気安定度別平均濃度は不安定時（A～B）に高くなる傾向を示し、高煙源の寄与が高いと言える（図 4.2.5)。NO_xについては安定時（G）の濃度が高く、低煙源の寄与が高いが、Capivari 局では不安定時にも高くなる傾向があり、低煙源に加えて高煙源も寄与していると考えられる（図 4.2.6)。

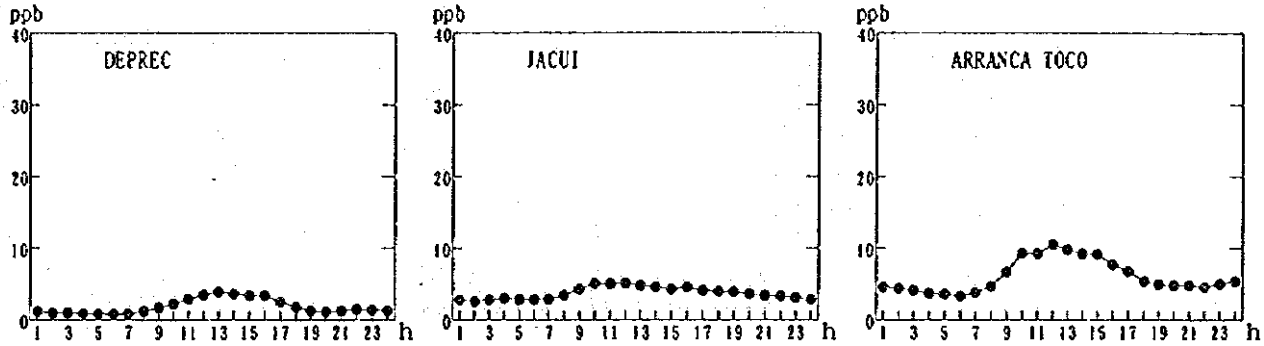
(4) 環境濃度の現状

現状におけるSO_2やNO_2の濃度レベルは環境基準と比較して、かなり低いレベルにあり問題は無いと言えるが、ジョルジュラセルダのＴＳＰはやや高い濃度である。全地域において発電所はSO_2汚染への寄与が高い可能性が強く、NO_x濃度に対する寄与は、自動車などの低煙源に比べて相対的に低いと考えられる。ＴＳＰに対する発電所の影響についてはシミュレーションの結果に基づいて考察することとする。

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

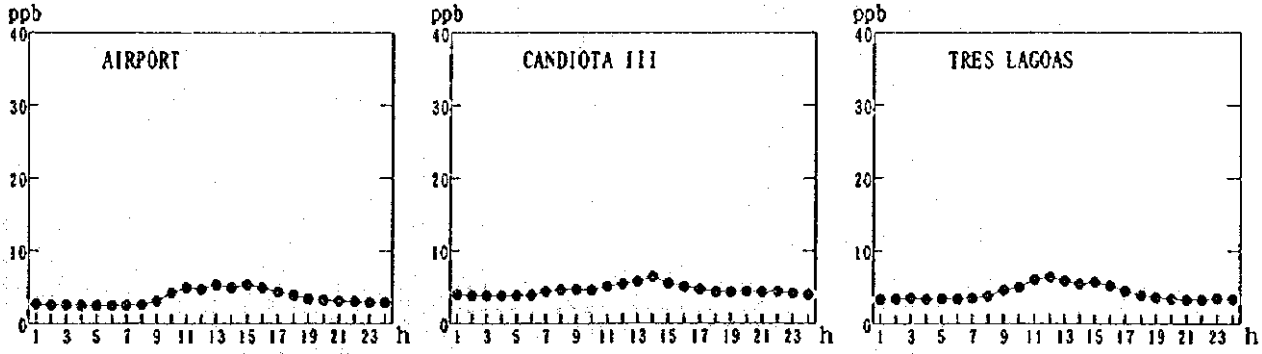
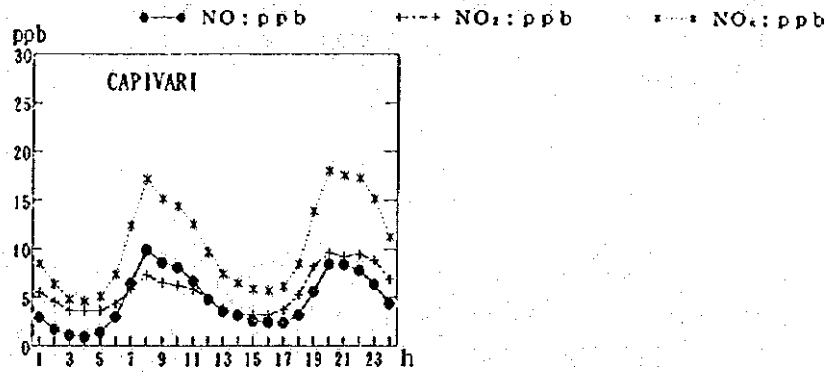


図 4.2.2 時刻別濃度変化（SO_2）

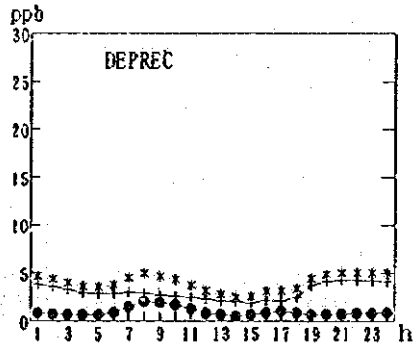
Year 1996 Mar to 1997 Feb

*SO_2: 1ppb=2.617 $\mu g/m^3$ at 25 ℃

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

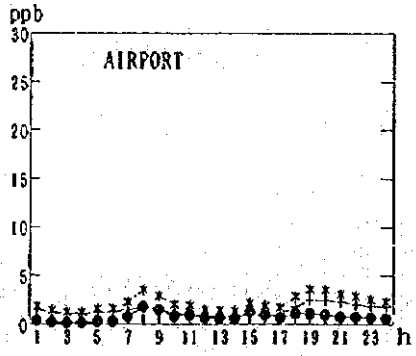
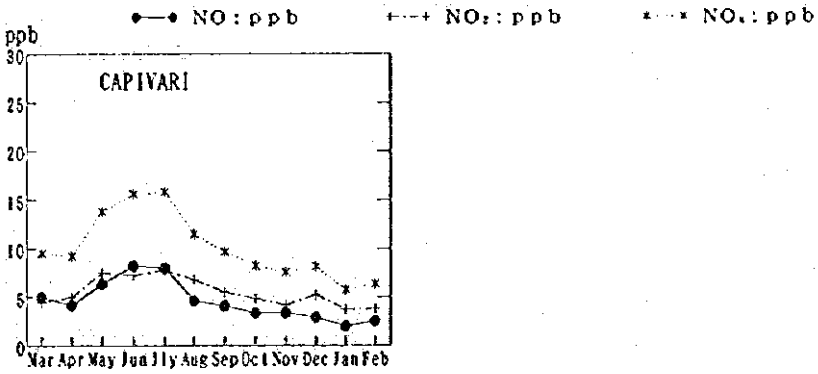


図 4.2.3 時刻別度変化 (NO_x)

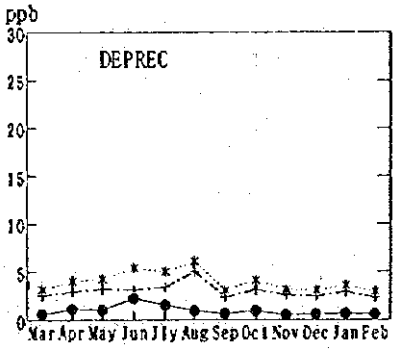
Year 1996 Mar to 1997 Feb

*NO_2: 1ppb=1.881 $\mu g/m^3$ at 25 ℃

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

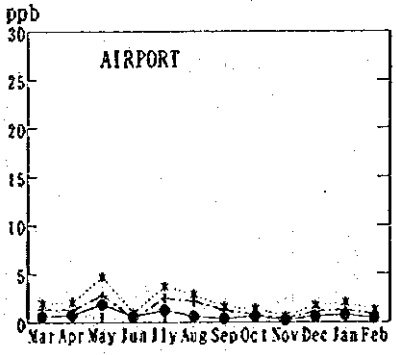
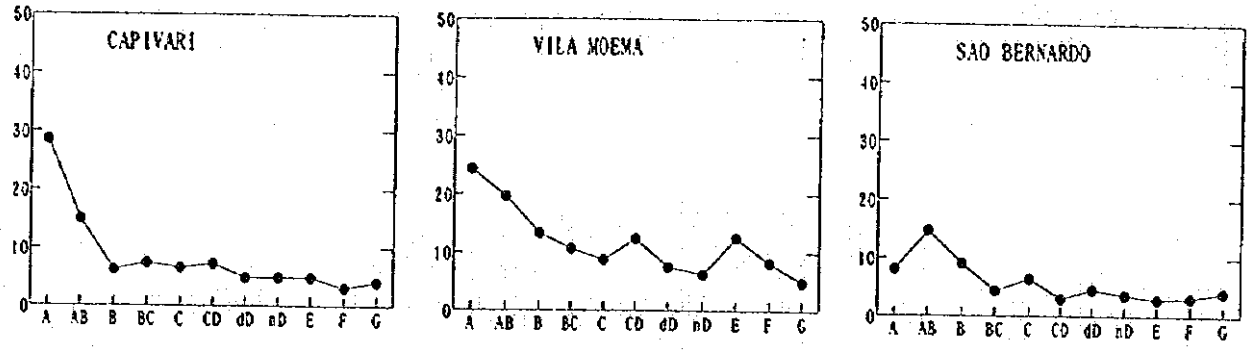


図 4.2.4 月別濃度変化 (NO_x)

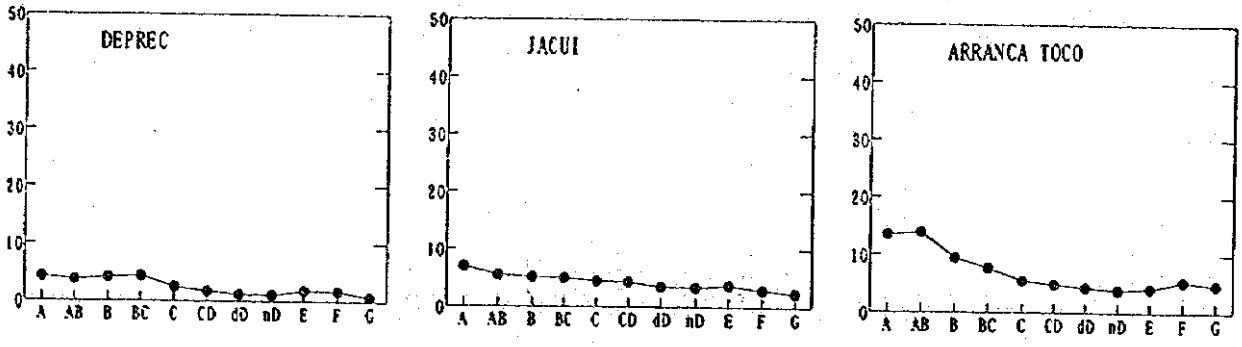
Year 1996 Mar to 1997 Feb

*NO_2: 1ppb=1.881 $\mu g/m^3$ at 25 ℃

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

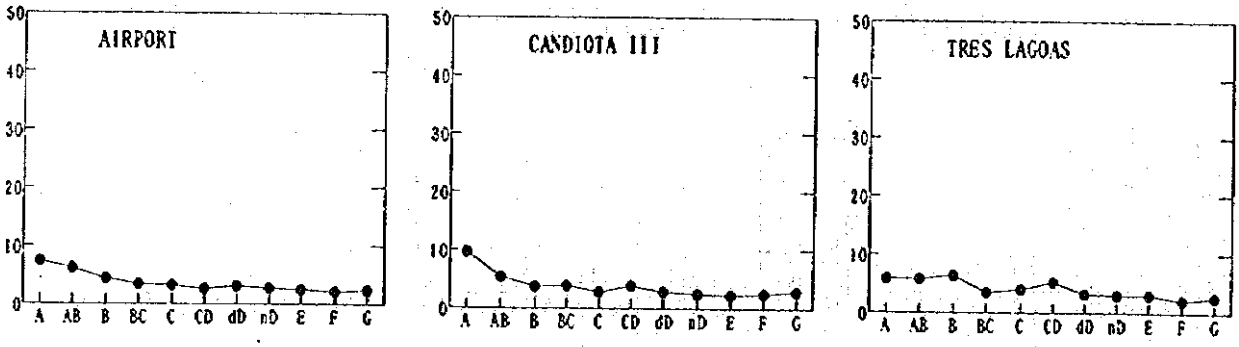
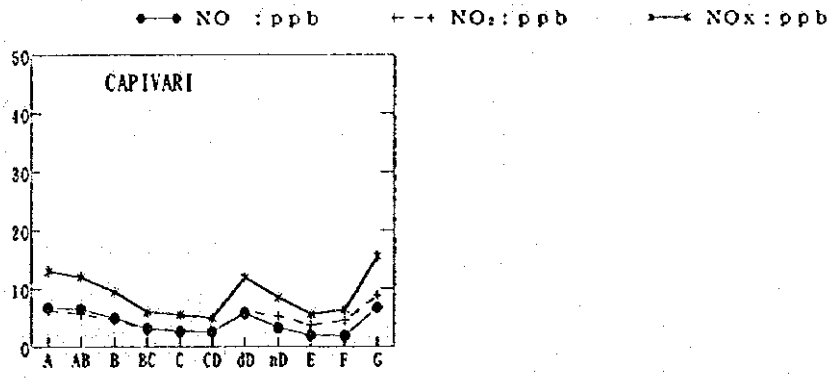


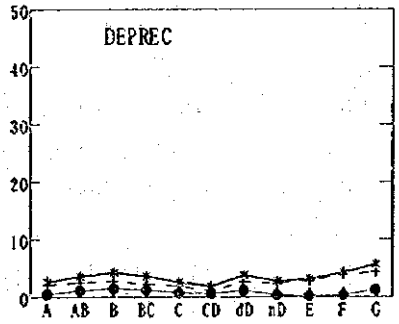
図 4.2.5　大気安定度別平均濃度（SO_2）

Year 1996 Mar to 1997 Feb

Jorge Lacerda Power Plant



Charqueadas Power Plant



Candiota Power Plant

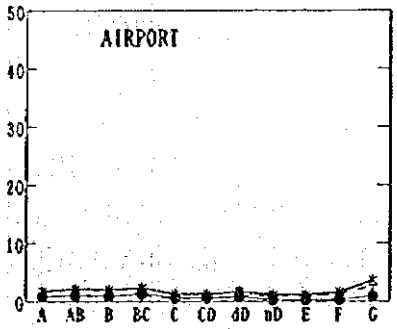


図 4.2.6 大気安定度別平均濃度 (NO_x)

Year 1996 Mar to 1997 Feb

4.3 簡易測定

4.3.1 簡易測定方法

環境濃度の自動連続測定の補間として、各発電所周辺 20 カ所にてSO_2とNO_2簡易測定を試みた（図 4.2.1)。使用機材は別添 1-4 に示し、その方法を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 簡易測定方法

項　　目	使用薬剤と分析法
SO_2 及び NO_2	トリエタノールアミン - イオンクロマトグラフ法
NO_x	トリエタノールアミン+PTIO - イオンクロマトグラフ法

簡易法の一種として、今までブラジルでは、大気中のSO_2を PbO_2 法（定量下限値：6.25mg/ 暴露時間）により実施してきたが、感度が悪く検出出来なかった。そのため本調査では 1000 倍以上高感度のイオンクロマトグラフ法を採用した。この方法による定量下限値を以下に示す。

SO_2 ：0.005mg/暴露時間
NO ：0.004mg/暴露時間
NO_x ：0.004mg/暴露時間

しかし、実際に適用してみると予想以上に測定物質濃度は低く、分析結果はこの定量下限値以下となった。そこで、イオンクロマトグラフへの試料導入量を増やすことにより、さらに 5 倍感度を上げ分析を行った。この定量下限値を以下に示す。

SO_2 ：0.001mg/暴露時間
NO_2 ：0.0008mg/暴露時間

但し、NO_x は感度を上げることにより、PTIO による捕集物質のピークと重なるため測定不可能となった。NO_x濃度も非常に低濃度であり、定量下限値が 0.004mg/暴露時間では検出されないため、分析はSO_2及びNO_2のみとした。カラムの劣化防止を考慮すると、分析上この定量下限値が限界である。この定量下限値でも当初の暴露時間 7 日間では検出された測定点は少なく、又、検出された測定点も測定精度の向上を計るために、暴露時間を 1 ヶ月間とした。測定結果を別添 4-9A に記載した。

4.3.2 地域濃度分布

同時に自動連続測定を行っている測定局で、簡易測定法による吸着量と自動連続測定による濃度との間の回帰式を求め（別添 4-9B）、各測定地点の吸着量を年平均濃度に換算した。ただし、SO_2については相関が見られなかったことから、濃度への換算を行わず、年平均吸着量で評価した。

各測定局におけるSO_2の年平均吸着量とNO_2の年平均濃度を図 4.3.1 に示す。

ジョルジュラセルダでSO_2吸着量が多い（0.4μg／月を超える）地域は、発電所の西南西～南西側の 5km～15km に位置し、東～北北西の風向頻度が多いことから、発電所の影響を受けている可能性がある。NO_2濃度が高い（5ppb を超える）地域は発電所の南西側と東～北北西側に位置する。

シャルケアーダスでSO_2吸着量が多い地域は、発電所の北西～西側の 10km～15km と東～東北東側の周辺～10km に位置し、主風向が南東～東南東であることから、北西～西側の地域は発電所の影響を受けている可能性がある。NO_2濃度が高いのは発電所近傍の 1 地点のみである。

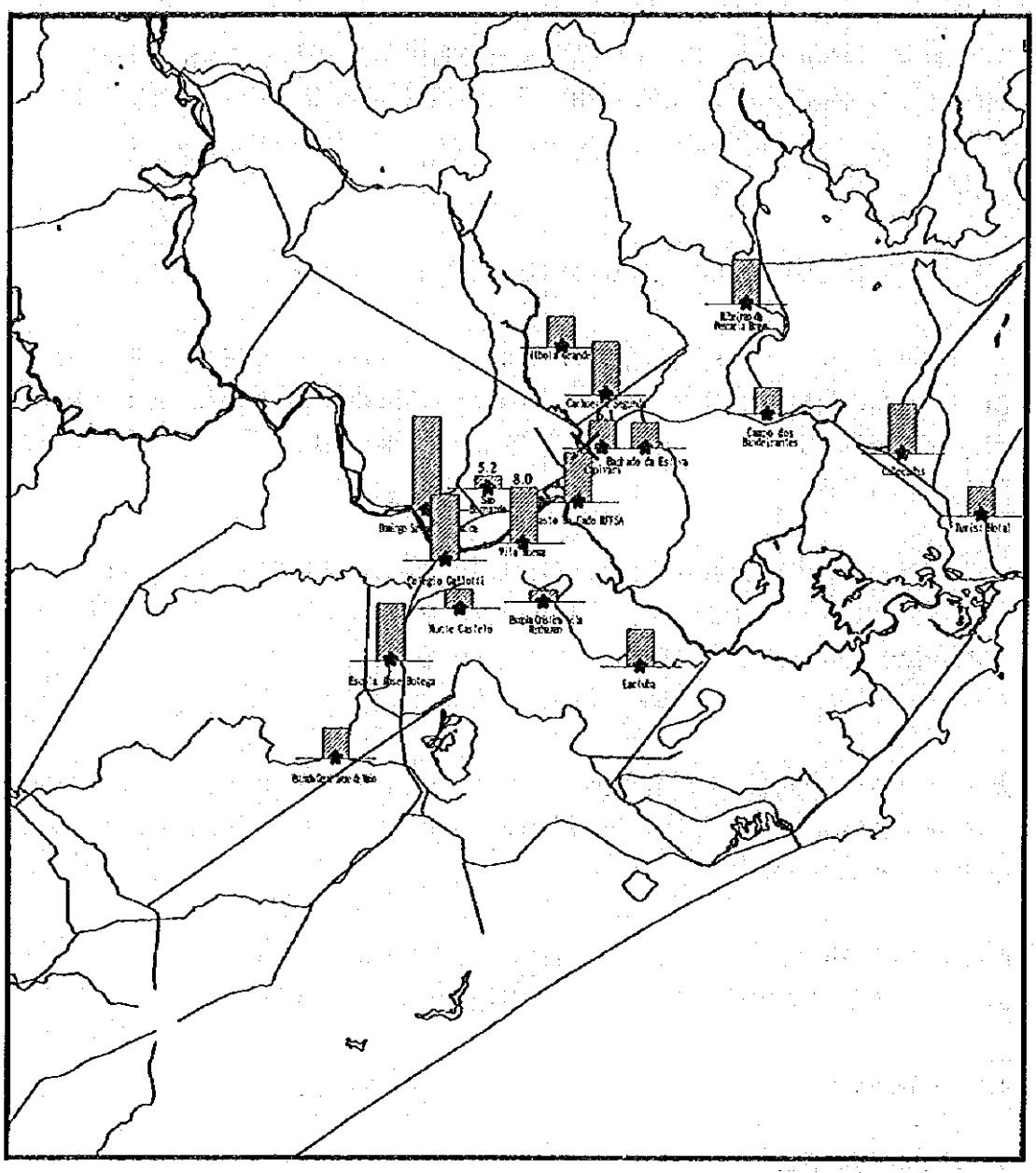
カンジオッタでSO_2吸着量が多い地域は、発電所の南側の周辺～20km や北西～北側の 5km～15km と広範囲に分布しており、発電所以外に局所的な発生源が存在する可能性がある。NO_2濃度は全般に低い。

簡易測定結果から発電所の影響が示唆される地域もあるが、他発生源からの影響の可能性もあることから測定局の配置等に当たっては周辺の発生源状況を把握することが重要である。

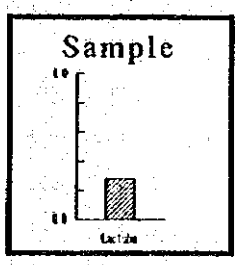
4.4 化学分析

4.4.1 化学分析方法

大気環境簡易測定のほかに、諸種の化学分析を本調査では実施した。 それらの項目と方法を表 4.4.1 に示した。 分析室をシャルケアーダス発電所に設置し、別添 1-3 に記載した発電所所有の機材と新規 JICA が購入した機材（別添 1-4）を使用した。 更に、一部現地機関にも分析依頼した。



Jorge Lacerda
SO_2(ug)

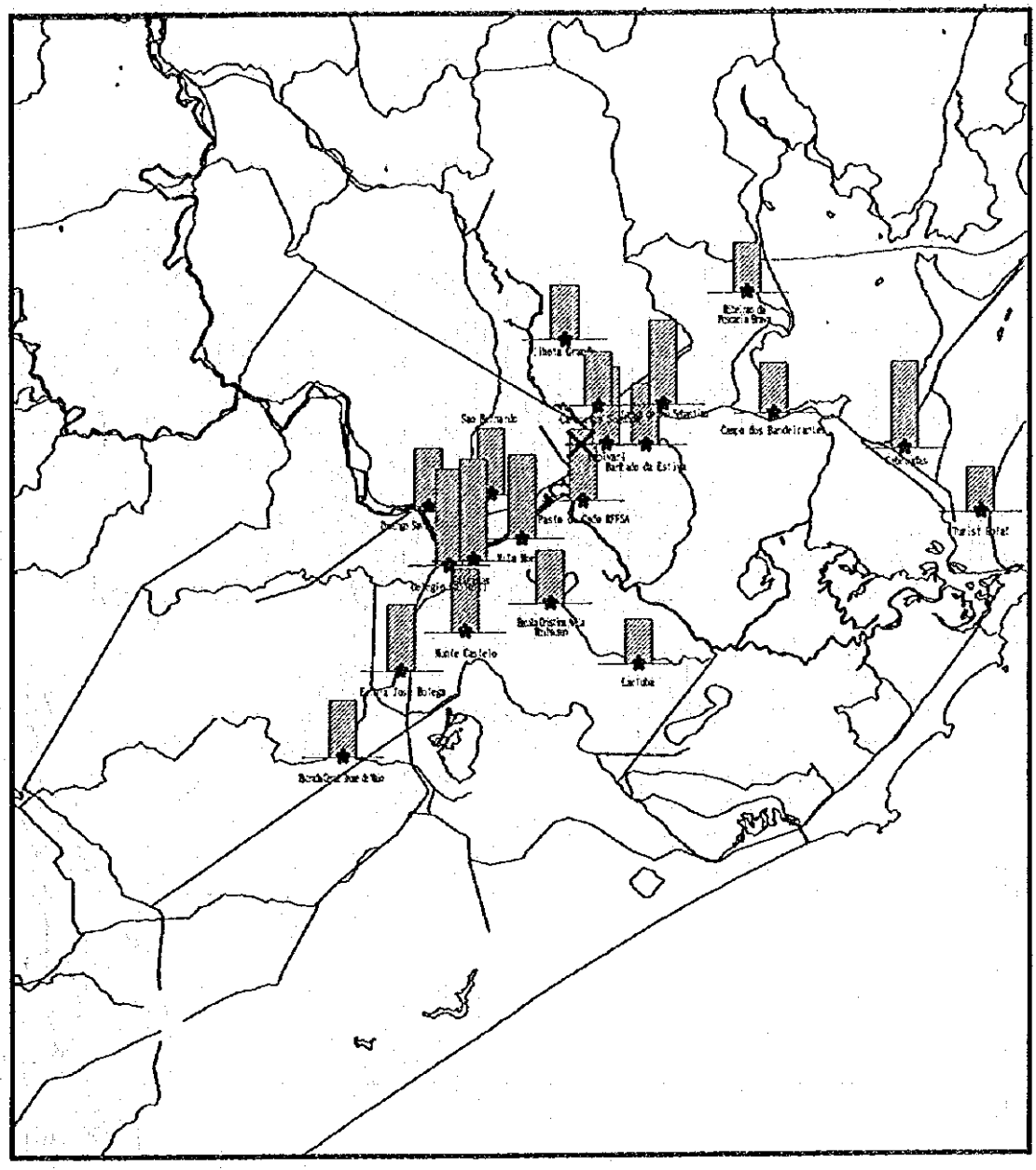


Stations where Concentration is zero

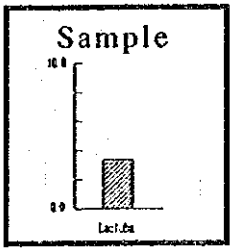
Igreja de Sao Sebastiao
Oficinas

★ :Station
✕ :Power Plant

図 4.3.1(1) 簡易測定による地域濃度分布（ジョルジュラセルダ・SO_2）

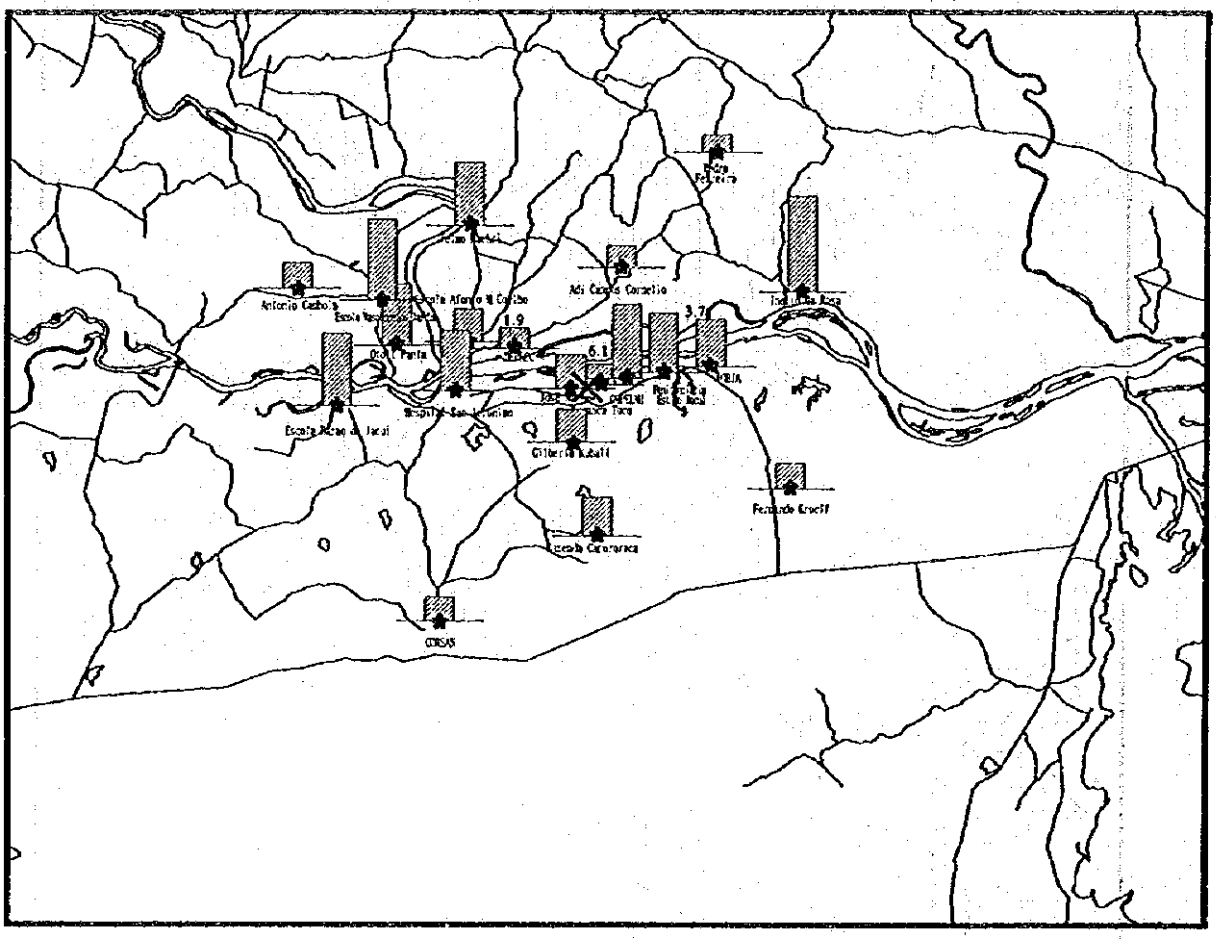


Jorge Lacerda
NO_2(ppb)

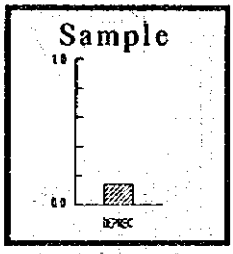


★ :Station
✕ :Power Plant

図 4.3.1(2) 簡易測定による地域濃度分布（ジョルジュラセルダ・ NO_2）

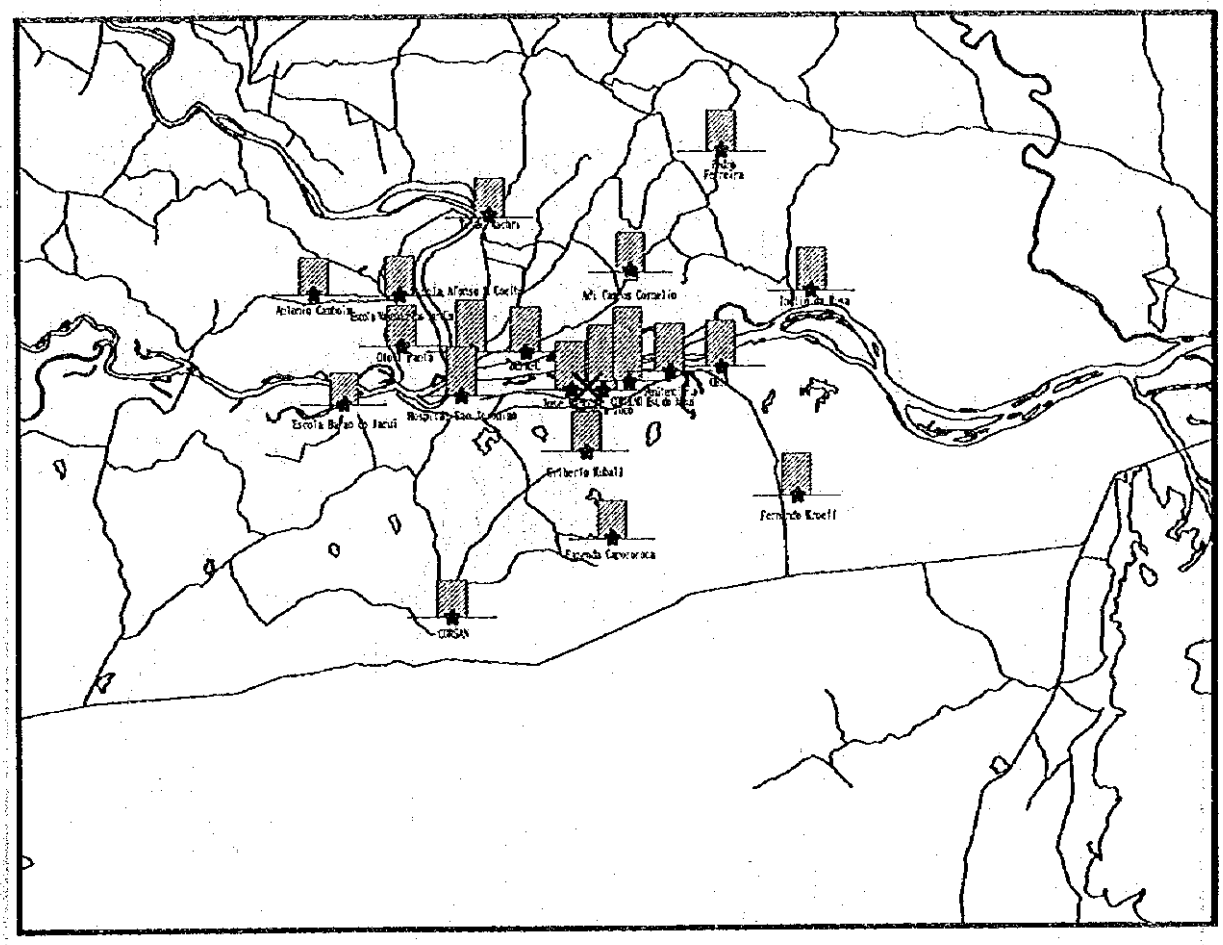


Charqueadas
SO_2(ug)

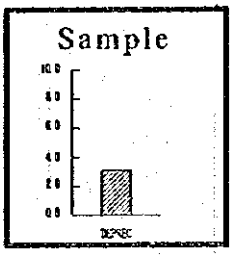


★ :Station
✕ :Power Plant

図 4.3.1(3) 簡易測定による地域濃度分布（シャルケアーダス・SO_2）



Charqueadas
NO_2(ppb)



★ :Station
✕ :Power Plant

図 4.3.1(4) 簡易測定による地域濃度分布（シャルケアーダス・ NO_2）

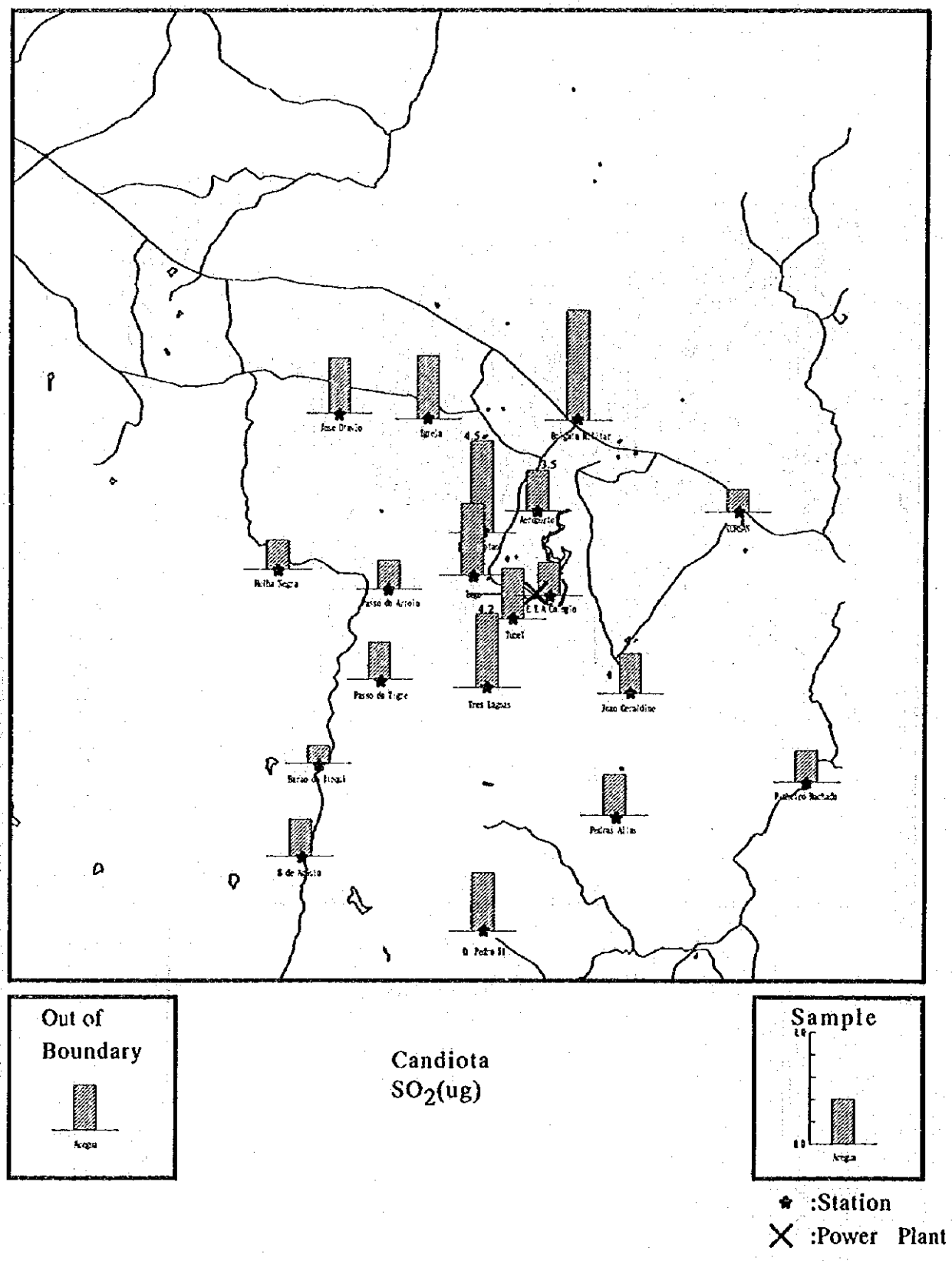
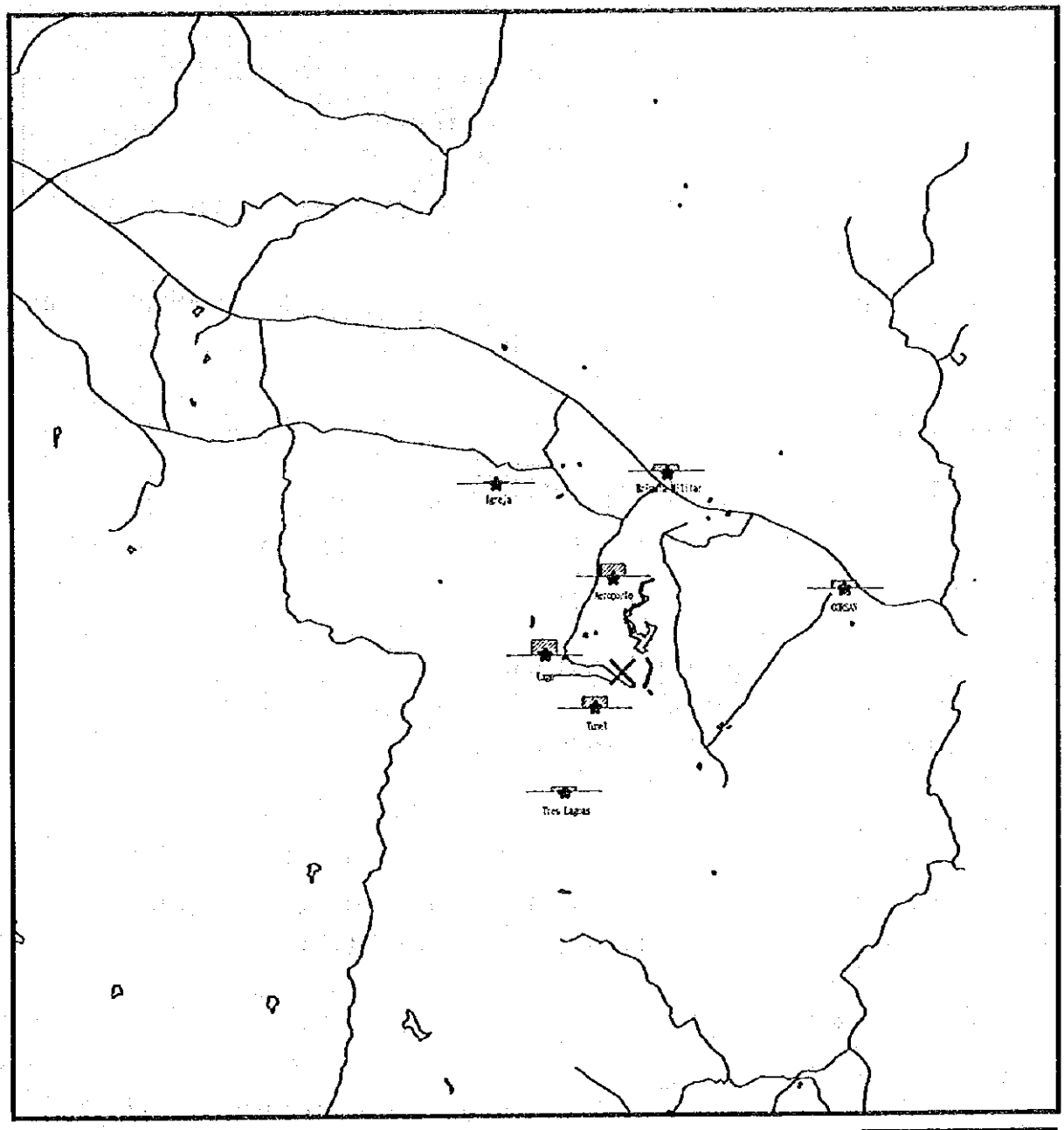
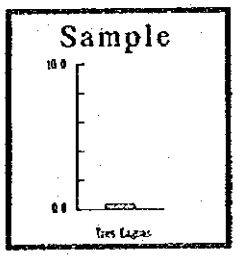


図 4.3.1(5) 簡易測定による地域濃度分布（カンジオッタ・SO_2）





Candiota
NO_2(ppb)

Stations where Concentration is zero

Candiotao	8 de Agosto
E.T.A. Colegio	Joao Geraldino
Passo do Arroio	Pedras Altas
Hulha Negra	D. Pedo II
Passo do Tigre	Jose Otavio
Barao do Itaqui	Pinheiro Machado
	Acegua

✱ :Station
✕ :Power Plant

図 4.3.1(6) 簡易測定による地域濃度分布（カンジオッタ・NO_2）

表 4.4.1 化学分析

項　　目	分 析 方 法
雨水及び乾性降下物中 アニオン及びカチオン	イオンクロマトグラフ法 （乾性降下物は、500㎖ の水に溶解後実施）
PH	pH 計（ガラス電極法）
電気伝導率	電気伝導度計
浮遊粉じん及びダスト中重金属等	現地分析機関に委託

現地分析機関に委託に当たっては大学等 6 分析機関を調査し、各分析機関の保有分析機器及び提示項目の分析可否から検討して委託先を決定した。

4.4.2 試料採取

大気中粒子状物質 1 試料と煙道中粒子状物質（報告書ではダストまたはフライアッシュ）1 試料を、各発電所で採取した。次の地点で、1 ヶ月に 2 回、雨水と乾性降下物の各 1 試料を採取した。

(1)ジョルジュラセルダ　　Power Plant
(2)シャルケアーダス　　Jacui
(3)カンジオッタ　　Airport 及び Acegua

4.4.3 結果と評価

雨水と乾性降下物については分析結果（別添 4-10）と相関（別添 4-11A&B）を示し、粒子の元素分析結果は別添 4-12 に示した。分析結果の評価を以下に示す。

(1) 雨水及び乾性降下物

雨水及び乾性降下物の分析結果からイオンバランス（μg 当量/liter）及び pH 理論値(pHc)を算出しそれぞれの 1）pH と pHc、2）アニオンとカチオン及び 3）全イオンと電気伝導率(EC)よりとの関係を、相関係数(r^2)より検討した。また、Na と Cl との相関についても併せて検討した（別添 4-11A)。回帰直線から明らかに外れているデータを異常値とし、そのデータを除いた相関係数(r^2)も別添 4-11B に示した。

a) 雨水

雨水のカチオン（水素イオンを含む）とアニオンの比は、化学分析の精度を示す指標のひとつであり、日本の酸性雨分析の指針によれば、その比は 0.8～1.2 の間に入るべきで

ある（別添 4-11C）。この指針を満たす試料は、ジョルジュラセルダで２５試料中４試料、シャルケアーダスで２５試料中１試料、カンジオッタで２６試料中２試料、アセグアで２４試料中１試料であった。この試料数は酸性度の年平均値を代表するのには少なすぎる。

カチオンとアニオンの比の範囲を 0.5～1.5 に拡げることで、試料数はジョルジュラセルダで１７試料、シャルケアーダスで９試料、カンジオッタで２試料、アセグアで４試料となる。これらのデータの、降水量による年間加重ｐＨ平均値は４．５１、５．２２、５．３１及び５．９１であった。この酸性度は、別添 4-11D に示す様に、日本と同じレベル（１９８８年度～１９９０年度でｐＨ４．３～５．２）であった。充分に管理した機材を使って、正確な方法で測定を継続することを強く提案する。

pH-pHc の関係は、各 4 地点及び 4 地点全体でも相関は見られなかった。イオンバランスから見ると、全体的にカチオン量がアニオン量を上回っており（相関図中、上部に分布（別添 4-11A 参照））pHc は殆どがアルカリ性となるが、今回の実測 pH は殆どが酸性を示している。しかし、その要因となるアニオンは検出されいない。純水の pH は、通常の状態で大気中に存在する CO_2 と平衡を保ち pH 約 5.6 を示すが、雨水は自然界に存在する酸性ガスや砂塵などのアルカリ性ダスト及びそれらに含まれる塩類による pH 緩衝作用によりその pH は影響される。今回の結果も、これらの影響によるものと考えられる。

アニオン－カチオンの関係は、３個のデータを除くと各４地点及び４地点全体でも強い相関が見られた。シャルケアーダスの２個の NH_4 データは４地点全体で見ても異常値であった。

全イオン－EC 関係も、３個のデータを除くと各４地点及び４地点全体でも強い相関が見られた。上記シャアルケアーダスの２個の NH_4 データ及び EC は、シャアルケアーダス内で異常値であったが、EC は４地点全体で見ても異常値であった。

b) 乾性降下物

pH-pHc の関係は、雨水と同様に各４地点及び４地点全体でも相関は見られなかった。結果も雨水と同様であり、塩類による pH 緩衝作用等の影響と考えられる。

アニオン－カチオンの関係は、異常値を除くと相関が強くなる地点もあるが、４地点全体で見ると全体にアニオンとカチオンとの関係にバラツキがあり、相関はあるが強くはなかった。

全イオン－EC の関係は、カンジオッタの Acegua で相関が見られなかった。この地域は、全イオン濃度及び EC が低いため測定誤差が生じやすく、それがバラツキの要因と考えられる。シャルケアーダスの２個の EC データは、４地点全体で見ても異常値であった。

c) Na と Cl の相関関係

雨水は、１個のデータを除くと４地点とも Na と Cl との強い相関が見られた。これは、NaCl を含む海塩、岩塩等の極微粒子が大気中に広く拡散し雨水に取り込まれたものと考えられる。

乾性降下物には、ジョルジュラセルダを除くと相関が見られなかった。これは、乾性降下物として捕捉出来る程度大きな海塩、岩塩等の粒子は拡散範囲が狭く、測定点まで到達しなかったものと考えられる。ジョルジュラセルダは、海に近く海塩粒子の影響と考えられる。

(2) 浮遊粉じん及びダスト中重金属等

分析を委託した現地分析機関の分析結果を別添 4-12 に示した。Pb 及び F は殆どの試料から検出されているが、その他の元素はあまり検出されていない。石炭灰の Pb 含有量が高く Ni が低いので非常に不思議であった。

確認のために、第３次現地調査で３発電所の石炭灰を持ち帰り、JICA チームが分析した結果（別添 4-12)、いずれの石炭灰も Ni が Pb よりも多く含まれていた。また、平成９年度カウンターパート研修時に持参した試料分析結果も別添 4-12 に併記した。煤塵中の灰分はやはり Ni が多く、また Pb は大気浮遊粒子状物質の一桁小さい値であった。

平成９年度分析結果を、クラーク数（Pb13, Ni75, Co25, Be2.8, Fe50000 ppm 重量）と比較すると Pb は人工の発生源から由来すると思われる。WHO の Pb の大気中の許容量は 0.5～1.0$\mu g/m^3$ であり、平成９年度の分析結果は 0.019～0.156$\mu g/m^3$ にありWHO の許容値以下にある。

Co と Fe はクラーク数から多分土壌由来であろうが、Arranca Toco の５月１８日のデータは Fe が多い。

第5章　ばい煙の現状とその評価

5.1 石炭火力発電所の設備概要

5.1.1 発電所の位置

ELETROSUL に所属するジョルジュラセルダ発電所とシャルケアーダス発電所はそれぞれ、サンタカタリーナ州、リオグランデドスル州に、また CEEE に所属するカンジオッタ発電所はリオグランデドスル州に位置しており、いずれの発電所も石炭採掘地域に立地している。（対象3火力発電所の位置は図 1.1.1 参照）

5.1.2 既設発電設備概要

ジョルジュラセルダ発電所とシャルケアーダス発電所及びカンジオッタ発電所の設備概要は表 5.1.1 に示すとおりである。各発電所は近くで採掘される低品位炭を燃料としており、環境対策設備としては、電気集じん機が設置されているが、脱硫及び脱硝装置は設置されていない。

5.1.3 既設発電設備の運転状況

(1) 微粉炭燃焼方式

すべての対象火力発電設備とも、石炭を粉砕機(ミル)により粉砕し、その微粉炭を搬送用空気と共にバーナーにより炉内へ吹き込み燃焼させる微粉炭燃焼方式を採用している。微粉炭燃焼方式は火格子燃焼方式に比べ、次の特徴がある。

- 過剰空気が少なく燃焼効率が高い。
- 負荷および燃焼調整が容易で、短時間で点・消火ができる。
- 自動制御しやすい。
- 液体燃料または気体燃料との混焼が容易である。

(2) 石炭燃焼管理

微粉炭バーナーにより、微粉炭を浮遊燃焼させると着火時間および燃焼時間が極端に短くなり、油やガス燃焼に近いかたちで燃焼することができる。燃料を完全燃焼させるには、理論上必要な空気量（理論空気量）のほかに、燃料の性状に応じて適正空気量を過剰に加える必要がある。微粉炭燃焼の場合は油、ガスに比べてより多くの過剰空気が必要となる。一般的には、排煙中の残存酸素濃度が 5～6%程度となる。

表 5.1.1　石炭火力発電所の既設設備概要

発電所	ユニット	号機	定格出力 (MW)	使用燃料	燃料使用量 (t/h)	排ガス量 (m^3N/h)	排ガス温度(℃)	排ガス速度 (m/s)	煙突高 (m)	煙突口径 (m)	集塵装置	冷却塔	運転開始
ジョルジュ・テセルダ	AI	1号	50	石炭	30.23	238,000	150	10.12	150 (共用煙突)	5.9	EP 集塵効率 99%	強制冷却式	1961
		2号	50		30.23	238,000	150						1963
	AII	3号	66		34.23	260,000	160						1972
		4号	66		34.23	260,000	160						1972
	BIII	5号	125		74.7	480,000	180	8.02	100	4.6			1977
		6号	125		74.7	480,000	180		100	4.6			1977
	合計	3	6	482	-			-	-	-	-	-	-
シャルケアーダス		1号	18	石炭	20.7	96,000	180	5.43	62 (共用煙突)	5.0	EP 集塵効率 99.5%	強制冷却式	1956
		2号	18		20.7	96,000	180						1956
		3号	18		20.7	96,000	180						1956
		4号	18		20.7	96,000	180						1968
	合計	1	4	72	-			-	-	-	-	-	-
カンジオッタ	A	1号	63	石炭	69.3	246,000	130	8.0	150 (集合煙突)	5.05	EP 集塵効率 99.4%	強制冷却式	1974
		2号	63		69.3	246,000	130						1974
	B	1号	160		206.67	910,000	162	18.5		5.05		乾式 自然通風式	1986
		2号	160		206.67	910,000	162			5.05			1986
	合計	2	4	446	-			-	-	-	-	-	-

対象発電所の排煙の測定結果によると、残存酸素濃度はジョルジュラセルダＡＩ　が8%～10%、ＡⅡが8%～9.5%(96年2月23日のデータのO_2=19.2%を除いた)、ＢⅢが8～11%である。シャルケアーダスは7～10%、カンジオッタＡが11～16%、Ｂが10～13%といずれも高い値となっていた。このことは、排ガス中より過剰の空気が送入されたことを意味しており、結果として発電所の総合熱効率を低下させている。この原因としては、燃料の発熱量が低く、かつ灰分が 50%程度と多いため多量の過剰空気を供給して燃焼させているものと考えられる。その他にエアヒーターからの空気の漏れ込みが多いことが考えられる。

(3) 既設設備の年間利用率

1996年3月～1997年2月の発電所の年間利用率は、ジョルジュラセルダ発電所ではA1号機45.8%、A2号機45.2%、A3号機42.6%、A4号機40.8%、A5号機59.9%、A6号機67.0%、発電所合計では53.8%であった。一方シャルケアーダス発電所の合計利用率は52.4%であった。CEEEのカンジオッタ発電所では、A1号機 9.8%、A2号機 35.1%、B1号機35.3%、B2号機31.9%であり、発電所合計では30.5%と非常に低い。

ジョルジュラセルダとシャルケアーダス発電所の利用率は発電所毎に差はあるものの、冬(5～10月)に高く、夏(11～4月)に低くなっている。カンジオッタはＡ系列は冬に高く夏は低く、Ｂ系列はその逆となっている。

(4) 既設設備の環境対策

対象3火力発電所とも運転開始当初は、何ら環境対策設備を設置せず、排煙をそのまま、低煙突から大気中に放出していた。その後、大気汚染問題についての関心が高まり、逐次、増設に合わせて現在の高効率電気集じん機が設置されるに至った。

現在、3 火力発電所は、設備の保守点検及び修理、修繕等が十分に実施されていない模様である。更に、電気集じん機の集じん効率は仕様上ではいずれも 99%以上となっているが、排煙の状況から見てその性能はかなり低下しているものと考えられる。この傾向はシャルケアーダス及びカンジオッタ発電所で顕著であり、煙道からの排ガス漏出と併せて、発電所構内外に浮遊する石炭灰の粉じんの飛散状況からも推測することができるところである。

貯炭場の石炭は野積みの状態であり、防風ネット、散水設備等の炭じん飛散防止対策はとられていないが、周辺への影響は石炭灰の影響に比べて軽微である。

5.1.4 発電所で使用する石炭燃料

(1) 石炭の性状

各発電所で燃料として使用されている石炭の性状は表5.1.2に示すとおりである。

表5.1.2 各発電所で燃料として使用されている石炭の性状

品目（単位）	各発電所			
	ｼﾞｮﾙｼﾞｭ･ﾗｾﾙﾀﾞ	ｼｬﾙｹｱｰﾀﾞｽ	ｼﾞｬｸｲ	ｶﾝｼﾞｵｯﾀ
発熱量(Kcal/kg)	4300 - 4700	2945 - 3255	3600-3800	3027-3572
固定炭素(wt%)	33-40	FC/VC<1.2	FC/VC<1.6	24.5-28.1
揮発成分(wt%)	20-26	--	--	21.5-23.5
灰分(wt%)	39-44	53-56	45-48	49.1-53.5
全炭素(wt%)	43-50	--	--	28.0-30.0
水素(wt%)	2.7-3.1	--	--	1.8-2.4
硫黄(wt%)	1.8-2.3	<1.3	0.7	0.8-1.5
窒素(wt%)	1.0-2.1	--	--	0.4-0.7
酸素(wt%)	3.5-8.0	--	--	6.7-10.0
水分(wt%)	6-10	12-15	<15	10.0-18.4

(2) 石炭の発電所への輸送及び貯蔵

ジョルジュラセルダ発電所で使用されている石炭は炭坑から 60～70km を鉄道で輸送され、発電所の貯炭場(貯蔵量 100 万 t)に貯蔵される。シャルケアーダス発電所で使用される石炭は発電所から約30km離れた炭坑からトラックで輸送され、貯炭場に貯蔵される。一方カンジオッタ発電所で使用される石炭は炭坑から2.5kmの距離を600t/hでベルトコンベアー輸送され、直接発電所の貯炭場(貯蔵量30万t、30日分)に貯蔵される。いずれの発電所の貯炭場とも、防風ネット、散水設備等の炭塵の飛散防止対策はとられていない。

5.2 ばい煙測定

5.2.1 測定方法

対象発電所のばい煙測定を各ボイラー煙道にて実施した。測定には別添1-4 に載せたSO_2計、NOx-O_2計、ダスト測定システムを使用した。測定方法は表5.2.1 に示し、また、各火力のばい煙測定位置及び測定断面における測定点図を別添5-1 に示した。

表5.2.1　ばい煙測定方法

測定計器		測定方法	適用標準
SO_2 計		赤外線吸収方式 ポータブル自動測定装置	JIS-B7981-84
NOx 計		化学発光方式 ポータブル自動測定装置	JIS-B7982-88
O_2 測定		ジルコニア方式 ポータブル自動測定装置	JIS-B7983-94
ダスト測定	ダスト濃度	動圧平衡形試料採取装置 (円筒ろ紙法)	
	水分量	塩化カルシウム吸湿管法	JIS-Z8808-92
	流速	ピトー管	
	温度	熱電対	

5.2.2 測定結果と評価

(1) 総括

ばい煙測定は各ユニットごとに稼働状況に応じ1～4回測定を行った。その測定結果の一覧表を発電所ごとに別添5-2 に示した。また、測定日毎の単位出力当たりのSO_2とNOx，ダスト排出量を別添5-3 に示した。排ガス流速と温度分布及びダスト分布を別添5-4 に示した。別添5-3に記載した異常値を除外しても、ダスト排出量は0.4乃至12.4 Kg/h・MW、SO_2排出量は19.9から52.4 Kg/h・MW及びNOx排出量は1.1から4.5 Kg/h・MWであった。ダストの排出量の幅が非常に広い。これは、石炭の灰分の含有量の変化が大きいかＥＰの設計性能の差と考える。

出力と燃料使用量、出力と排ガス量、出力とSO_2排出量の相関関係を別添5-5に示した。燃料使用量は発電所側で出力を知って計算で算出しており、直線を保つのは当たり前であるが、Charqueadas ではその相関がなかった。Jorge Lacerdasにおいて出力と排ガス量、出力とSO_2排出量とは良い相関が得られ、測定データーの信頼性を確かめた（図5.2.1)。Charqueadas火力は出力の差がなく、また、Candiotaは出力２点のみのデーターで

あり、今後多くのデーターにより相関を取ることが望ましい。この相関は、今後の汚染発生量の予想や測定値のチェックに使用出来る。

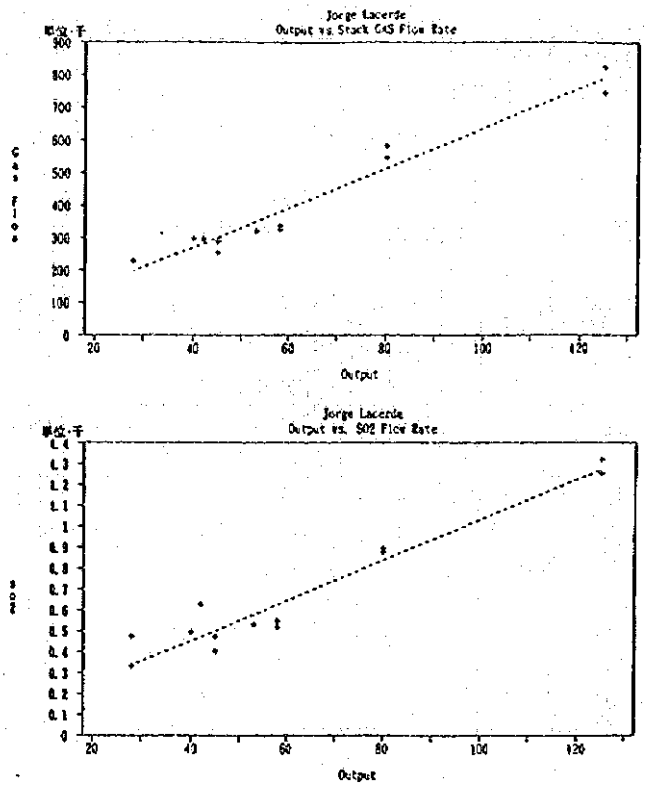


図5.2.1　出力と排ガス量またはSO2排出量との相関

計算排ガス量または理論SO２排出量と実測値との比較は別添5-6に記載し、その結果を表5.2.2 に示した。比較的良い一致を見ており、精度良い測定が行われたことを証明している。

表5.2.2　排ガス量またはSO2発生量の計算値と実測値との比率 %

	ジョルジュラセルダ		シャルケアーダス		カンジオッタ	
	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値
排ガス	69.1～97.7	84.5	96～134	125	66.5～89	76.9
SO_2	59.6～102	77.6	80.4～136	107	70.4～133	103

NOx発生量は一般的に全発電所全ユニットで低い値を示した。これは、図5.2.2(H058)に示すように温度に対するNO生成率は1,600 ℃以上になるとNO生成が急激に増加する。

対象火力発電所は、燃焼空気量が多いなどの理由からボイラ燃焼温度が低いためかNOx の排出量は比較的少ない。

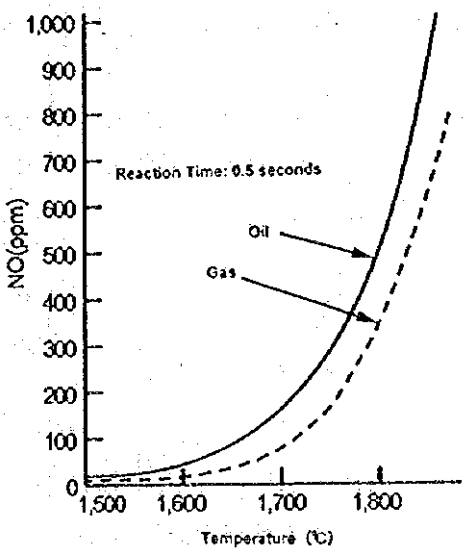


図5.2.2　炉内温度と理論NO発生量（#058）

表5.2.3　ダスト、SO_2、NOx排出量とFEPAM合意基準値との比率

発電所	ユニット	ダスト	SO_2	NOx
シャルケアーダス	1	-	13.6	0.9
		5.0	9.1	0.9
		7.0	9.3	0.7
	2	-	12.7	0.6
		1.0	10.5	0.5
		2.4	11.1	0.6
		13.5	10.1	0.6
	3	6.5	12.1	0.9
		4.8	8.1	0.8
		5.7	8.2	0.8
	4	6.6	8.9	0.8
		7.9	9.9	0.8
カンヂオッタ	A1	19.1	-	1.0
		12.5	18.6	0.9
	A2	11.6	15.1	1.2
		11.3	15.3	1.3
	B1	-	2.9	1.0
	B2	-	3.0	0.7
		-	3.2	0.7
		-	3.3	0.9

別添5-8は、既設のユニットを今から新設したら、ブラジルの現行排出基準（#02-CONAMA008)に対してどうなっているかを検討するために、仮定的に比較したものである。コナマの排出基準に対して、ダストは大型発電ユニットで基準を満足していないし、SO_2に関してはCharqueadas の一部を除くほぼ全ユニット基準を満足していなかった。

一方、表5.2.3にて、ダスト、SO_2、NOxにおいてFEPAMとの合意排出基準（表3.2.4）と実測値を比較した。ダストとSO_2は全ユニットで合意値を満足していない。NOxはCandiotaのA系列を除き合意値以下であった。

(2) ダスト

1)Jorge Lacerda 火力発電所

排出濃度は0.083～1.261g/m³Nであった。コナマ基準との仮想の比較では、データーが少ないが５号ユニットを除きコナマの基準を満足している。

ダスト分布は1,2,3,4,6 号ユニットで行った。1,2 号ユニットの流速は上部が早く、下部が遅い，3,4,6 号ユニットはほぼ均一であった。全て中心付近でサンプリングを行えば代表的な数値が得られる。

2)Charqueadas 火力発電所

排出濃度は0.081～1.081g/m³Nであった。コナマ基準との仮想の比較では全てコナマの基準を満足していた。また、FEPAM合意基準値80mg/m³Nとの比較では、1.0 ～13.5 倍と全ユニットで基準を満足していなかった。2005年までに基準を達成するには設備改善が必要と思われる。

ダスト分布は1 号ユニットを2 回行った。1 号ユニット中心点は偏差値10%以下で平均値に近く、代表点とする。流速はほぼ均一に分布していた。

3)Candiota火力発電所

排出濃度は0.929～2.052g/m³N であった。コナマ基準との仮想の比較では大型ユニット（B1と2号機）が許容値を満足していない。また、FEPAM合意基準値80mg/m³Nとの比較では約10～20 倍と，全ユニットで基準を満足していなかった。2002年あるいは2004年までに基準を達成するには設備改善が必要と思われる。

ダスト分布はA1ユニットだけで行った。偏差が最大で±50 程度で分布が少なく、ダス

ト採取はサンプリングノズル中央2ヶ所（C-2,D-2 ノズル：別添5-4）で1検体ずつ採取し、平均すれば良い。流速分布はサンプリングノズルA列よりF列側の方が速い。

(3) SO_2

1)Jorge Lacerda 火力発電所

SO_2濃度は O_2濃度6%換算値で0.204～0.293%（5,829～8,371mg/m^{3}N)であった。コナマの基準との仮想の比較では、全ユニットで基準を達成していない。計算排ガス量及び理論SO_2排出量と実測との比較（表5.2.2)は計算排出量／実測が平均84.5% と77.6% と比較的良い一致を見た。石炭使用量の把握をコンベヤスケール等で計量を行えば、より良い一致が得られると思われる。この事から、計算によるSO_2排出量の把握が可能に成る。

FATMA との合意によれば、増設Ⅳ号ユニットを含め全SO_2最大許容発生量は20.4t/h である。既存ボイラの測定範囲の最大合計では12.2t/h であるので、Ⅳユニットで8.2t/h の余裕がある。これは100%負荷で2.2%S に相当する。尚、そのFATEM 合意は2.2%S である。

2)Charqueadas 火力発電所

SO_2濃度は O_2濃度6%換算値で0.114～0.190%,（3,257～5,429mg/m^{3}N)であった。コナマの基準との仮想の比較では、4号ユニットを除き基準を満足していないがその度合いは小さい。しかしFEPAM の合意排出基準との比較においては全ユニットで基準を満足するには至らなかった。計算排ガス量及び理論SO_2 排出量と実測との比較（表5.2.2)は計算排出量／実測が平均125%と107%と良い一致をみた。

3)Candiota火力発電所

SO_2濃度は O_2濃度6%換算値で0.212～0.261%,（6,057～7,457mg/m^{3}N)であった。コナマの基準との仮想の比較は全ユニットで満足していない。また、FEPAM合意基準値との比較では全ユニットで基準を満足していない。

(4) NOx

1)Jorge Lacerda 火力発電所： NOxの濃度は252～598ppm(O_2 6%換算）または264～750 mg/m^{3}Nであった。

2)Charqueadas 火力発電所： NOxの濃度は146～275ppm(O_2 6%換算）、196～368 mg/m^{3}N であった。FEPAM合意基準値との比較では全ユニットで基準を満足していた。

3)Candiota火力発電所： NOxの濃度は276～495ppm(O2 6%換算）、370から663mg/m^{3}Nであった。FEPAM合意基準値との比較ではA1，B1，B2号ユニットは基準を満足しており、A2が若干基準を越えていた。A1は2Aと同じ構造であるから、両者ともNOx対策は将来必要となろう。

(5) 酸素 (O_2)

排ガス中の O_2は一般的に高く、燃焼空気過剰の他にエアヒータ等の漏れがあると想定する。残存O_2はJorge Lacerda 火力発電所では8.12～10.7%，Charqueadas 火力発電所では6.7～9.8%，Candiota火力発電所では9.6～16.2% であった。過剰 O_2があるとボイラ熱効率が低下する。別添5-7に示した如く排ガス O_2濃度6%の運転と10% 運転とではほぼ3%の差がある。発電効率が30% 前後であることを考えると、この損失は大きい。

尚、低酸素燃焼は熱効率向上のほかＮＯｘ生成の抑制にも採用されているが、過度の低酸素燃焼は不完全燃焼を引き起こし、その結果、ダスト，CO，HC等の未燃分の発生を促すことになるので、十分注意する必要がある。

第６章　大気質へのばい煙影響評価

6.1　ばい煙影響評価手法の概要

発電所から排出される大気汚染物質による周辺環境への影響を、拡散シミュレーションモデルを用いて計算した。　ここで用いた拡散シミュレーションモデルはプルーム式・パフ式に基礎を置くものであり、対象汚染物質はSO_2、NO_2及びＳＰＭ、評価時間は年平均値、日平均値及び時間値とした。　O_3濃度の測定値が無いことや地域内にNO_x測定局が１局のみであることなどから、通常のNO_2変換モデルは使用できない。　よって、NO_x濃度からNO_2濃度の推計には、各地域１局のNO_2／NO_x比率を適用した。

現状における各発電所・各ユニットの発生源条件（汚染物質排出強度、排ガス量等）は、「5.2 ばい煙測定」の結果と各発電所の設備諸元・発電量データに基づいて設定した。

拡散計算に必要な気象条件は、風向・風速・大気安定度であり、ＪＩＣＡ調査団及びカウンターパートが測定した風向・風速・日射量・放射収支量に基づいて設定した。　煙突高さにおける風速は、地上風速に大気安定度毎の補正係数を乗ずることによって求めた。　大気安定度についても煙突が高いことから、推定結果を中立側に修正して用いた。

6.2　年平均濃度分布

6.2.1　年平均値モデル

以下に年平均値モデルの詳細を示す。

(1)　対象年

1996 年 3 月～1997 年 2 月の 1 年間

(2)　年平均値の計算方法

まず、期別・時間帯別・風向別・風速階級別・大気安定度別の各区分毎に、必要な気象データの出現頻度・平均値を求め、汚染物質排出量や湿り排ガス量についても、期別・時間帯別平均値を求める。次に、これらの平均値を使って、各区分毎に各発生源から各計算点への寄与濃度を計算する。最後に、次式によって年平均値が得られる。

$$C_y = \sum_t \left(\sum_s \left(\sum_{rm} F(Q_s, W_{rm}) \cdot f_{rm} \right) \cdot f_t \right)$$

ここで、

C_y	：	年平均濃度
t	：	期別・時間帯別区分
s	：	発生源区分
rm	：	気象区分
$F()$	：	拡散モデル
Q_s	：	発生源区分毎の汚染物質排出強度
W_{rm}	：	気象区分別気象要素平均値
f_{rm}	：	期別・時間帯別の各気象区分出現頻度
f_t	：	各期別・時間帯別区分の頻度

(3) 期別・時間帯別区分

発生源の稼働状況、気象要素や環境濃度の時系列変化を考慮して、２期・２時間帯の区分を設定した。

期別： 夏（11月～４月）、冬（５月～10月）

時間帯：昼（8:00～22:00）、夜（22:00～8:00）

(4) 気象区分

風向： 16方位及び静穏(風速 0.4m/s 以下)

風速階級： ～0.4m/s、～0.9m/s、～1.9m/s、～2.9m/s、～3.9m/s、～5.9m/s、～7.9m/s、8.0m/s～

大気安定度：A(強不安定)，AB，B，BC，C，CD，dD(昼間の中立)，nD(夜間の中立)，E，F，G(強安定)

(5) 対象発生源・対象汚染物質

各発電所の全既存ユニットを対象として、煙突単位で集約して対象発生源とし、点源として取り扱った。

対象汚染物質：SO_2、NO_x、NO_2、SPM

通常、発電所から排出される汚染物質は、SO_x、NO_x及びDustと称され、それが原因で発生する環境濃度はSO_2、NO_xとNO_2及びSPMと呼ばれる。ここでNO_xはNOとNO_2の合計を意味し、その中の一部が変換されてNO_2濃度を生じる。

(6) 拡散式

有風時：長期平均型プルーム式

$$C(R,z) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \frac{Q_p}{\frac{\pi}{8} R\sigma_z u} \cdot F$$

$$F = \left\{ \exp\left[-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^{\ 2}} \right] + \exp\left[-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^{\ 2}} \right] \right\}$$

C:	計算点における汚染物質濃度（ppb，$\mu g/m^3$等）
R:	発生源から計算点迄の距離 (m)
z:	計算点の高さ (m).
Q_p:	汚染物質排出強度 (m^3N/sec，Kg/sec 等).
u:	風速 (m/sec).
He:	有効煙突高
σ_z:	鉛直方向拡散パラメータ (m)

静穏時：長期平均型パフ式

$$C(R,z) = \frac{Q_p}{(2\pi)^{3/2}\gamma} \cdot \left\{ \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2}(He-z)^2} + \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2}(He+z)^2} \right\}$$

$\alpha = \sigma_x / t = \sigma_y / t$

$\gamma = \sigma_z / t$

t: 経過時間

(7) 有効煙突高推計式

有風時：CONCAWE 式

$$H_e = H_0 + 0.175 \cdot Q_H^{\frac{1}{2}} \cdot u^{-\frac{3}{4}}$$

H_e: 有効煙突高 (m)
H_0: 煙突実高 (m)
Q_H: 排出熱量 (cal/s)
u: 煙突頭頂部における風速（m/s）

$$Q_H = \rho \cdot C_p \cdot Q \cdot (T_G - T_A)$$

ρ: 0°C における排ガス密度 (1.293 x 10^3 g/m^3)
C_p: 定圧比熱 (0.24 cal/°K/g)
Q: 排ガス量 (m^{3}N/s)
T_G: 排ガス温度 (°C)
T_A: 気温(°C)

無風時：無風時 Briggs 式

$$H_e = H_0 + 1.4 \cdot Q_H^{1/4} \cdot (d\theta / dz)^{-3/8}$$

$d\theta/dz$: 温位傾度
(昼間 0.005 °C/m, 夜間 0.010 °C/m)

(8) NO_2変換モデル

通常のシミュレーションでは、NO_2濃度を予測するために、簡易な化学反応を仮定した変換モデル（指数近似モデルや定常状態近似モデル）や、地域内の測定局におけるNO_2/NO_xの統計的な関係式（統計モデル）を利用する。
しかし、対象地域内ではO_3濃度が測定されていないことや、各地域につき1局のみでNO_x測定が行われていること等から、通常のNO_2変換モデルは適用できない。
よって、各地域のNO_x測定局におけるNO_2/NO_x比率を適用して、NO_2濃度を予測した（表 6.2.1）。

表 6.2.1　各地域におけるNO_2/NO_x比率

発電所	測定局	NO_2/NO_x
ジョルジュラセルダ	Capivari	0.54
シャルケアーダス	DEPREC	0.75
カンジオッタ	Airport	0.64

(9)　煙突頭頂部の風速の推計

次式によって地上風速から煙突頭頂部の風速を推計した。

$$U_z = U_s \cdot \left(\frac{Z}{Z_s}\right)^p$$

U_z:　高さ Z(m)の煙突頭頂部での風速

U_s:　高さ Zs(m)で測定された地上風の風速

p:　大気安定度別の風速補正用係数（表 6.2.2）

表 6.2.2　大気安定度別の風速補正用係数

Stability	A	AB-B	BC-C	CD-D	E	F & G
p	0.1	0.15	0.2	0.25	0.25	0.3

(10) 大気安定度と拡散パラメータの対応

一般的に上層の拡散場は地上に比べて中立側に寄っており、高煙源からの拡散計算を行う場合に、拡散パラメータを修正しなければならない。日本における火力発電所等の拡散計算の事例に基づき、表 6.2.3 に示すように拡散パラメータを修正した（別添 6-3）。

表 6.2.3　大気安定度別拡散パラメータの設定

	大気安定度	A	AB	B	BC	C	CD	dD	nD	E	F	G
拡散パラメータ	冬・昼	C	C	C	CD	CD	D	D	D	E	E	E
	冬・夜	CD	CD	CD	D	D	D	D	D	E	E	E
	夏・昼	C	C	C	CD	CD	D	D	D	E	E	E
	夏・夜	C	C	C	CD	CD	D	D	D	E	E	E

(11) 計算点

濃度を計算する地点は、測定局に加えて、発電所から半径 20km 以内における 1km ×1km の格子の中央点とした。　中央点の数は 1200 以上になる。
また、測定局の計算点高さは吸入孔の高さとし、格子中央点については 1.5m とした。

6.2.2　発生源モデル

現状の汚染物質排出強度（SO_x、NO_x及びDust）、湿り排ガス量及び排ガス温度は、ばい煙測定データに基づいて設定した。排ガス量、汚染物質濃度や測定時負荷率のいずれかが欠測または異常値と判断された測定日のデータを除外し、あるユニットについて複数回の測定値がある場合は平均を取った（別添 6-1）。

まず、年間の各時間毎の発電量とばい煙測定時の発電量の比率によって補正し、時間毎の汚染物質排出強度と湿り排ガス量を求めた。
汚染物質排出強度：

$$Q_P = Q_D \times C_S \times MW_h / MW_m$$

Q_P：　各時間毎の汚染物質排出強度
Q_D：　測定時の単位時間当たり乾き排ガス量
C_S：　汚染物質濃度
MW_h：各時間毎の発電量
MW_m：測定時の発電量

単位時間当たり湿り排ガス量：

$$QW_h = QW_m \times MW_h / MW_m$$

QW_h：各時間毎の単位時間当たり湿り排ガス量
QW_m：測定時の単位時間当たり湿り排ガス量
MW_h：各時間毎の発電量
MW_m：測定時の発電量

次に、汚染物質排出強度と湿り排ガス量の期別・時間帯別平均値を算出した。　ここで、汚染物質排出強度については期間平均、湿り排ガス量については稼働時平均とした。最終的に各ユニットが接続している煙突毎に、排出諸元を集約した（表 6.2.4）。

表 6.2.4(1)　排出諸元（ジョルジュラセルダ）

煙突番号 接続ユニット	単位	1 1-4	2 5	3 6	4 7
発電量	(MWh)	232	125	125	320
煙突高さ	(m)	150	100	100	200
排ガス温度	(℃)	170.3	164.0	155.5	192.0
湿り排ガス量	(Km^3N/h)	672.7	640.7	742.8	649.7
Dust	(Kg/h)	297.0	336.8	73.0	104.4
SO_x	(m^3N/h)	1137.1	773.1	930.9	239.6
NO_x	(m^3N/h)	163.2	179.2	223.1	55.6

表 6.2.4(2)　排出諸元（シャルケアーダス）

煙突番号 接続ユニット	単位	1 1-4
発電量	(MWh)	72
煙突高さ	(m)	62
排ガス温度	(℃)	179.1
湿り排ガス量	(Km^3N/h)	294.4
Dust	(Kg/h)	90.8
SO_x	(m^3N/h)	306.8
NO_x	(m^3N/h)	49.6

表 6.2.4(3)　排出諸元（カンジオッタ）

煙突番号 接続ユニット	単位	1 1-4
発電量	(MWh)	446
煙突高さ	(m)	150
排ガス温度	(℃)	145.2
湿り排ガス量	(Km^3N/h)	1683.2
Dust	(Kg/h)	1211.8
SO_x	(m^3N/h)	1818.8
NO_x	(m^3N/h)	357.5

表 6.2.4 では湿り排ガス量と汚染物質排出量については年平均値を示したが、実際の拡散計算には期別・時間帯別平均値を使用した。また、ジョルジュラセルダ発電所のユニット

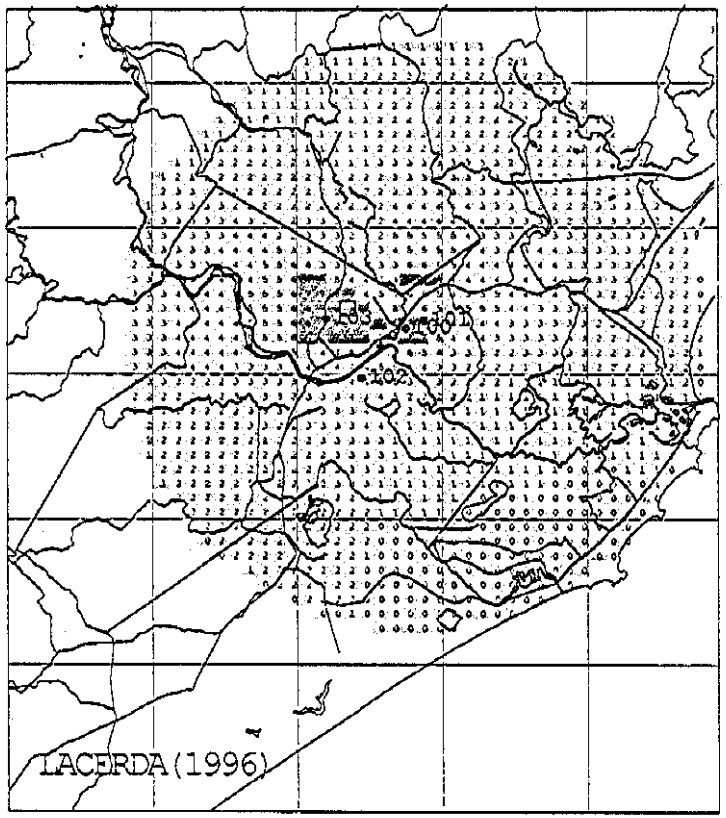
IV（表中ではユニット番号７と記述）は対象期間中に数ヶ月間、稼働しているが、汚染物質濃度と乾き排ガス量のデータが無かったことから、表中のユニット５の測定データを適用した。

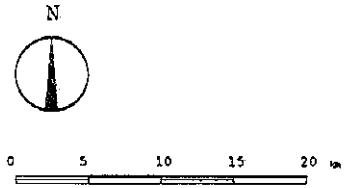
6.2.3 年平均濃度分布

ジョルジュラセルダのSO_2年平均濃度の地域内最高濃度は、8.5ppb であり、発電所の西北西、約４km の地点に出現する。環境基準値（30.56ppb）に比べると低い濃度ではあるが、ジョルジュラセルダの実測濃度の最高値が Vila Moema の 8.0ppb であることから考えると、SO_2濃度に関してジョルジュラセルダ発電所は主要発生源であると言える（図 6.2.1）。NO_2地域内最高濃度は 1.0ppb であり、環境基準値（53.15ppb）に比べると問題にならない濃度である。Capivari 局におけるNO_2濃度は 5.7ppb であり、時刻変化パタンも自動車の影響を示していることなどから、NO_2濃度に関するジョルジュラセルダ発電所の影響はバックグランド的なものであると言える（図 6.2.2）。ＳＰＭの地域内最高濃度は 2.2$\mu g/m^3$であり、環境基準値（50$\mu g/m^3$）に比べると問題にならないレベルである。ＳＰＭに関しても発電所は主要な発生源ではない（図 6.2.3）。

シャルケアーダスのSO_2の地域内最高濃度は 3.1ppb であり、発電所の北北西、約３km の地点に出現する。環境基準値よりも低いものの、地域内の実測濃度の最高値が Arranca Toco の 6.1ppb であることから、SO_2濃度に関してシャルケアーダス発電所は主要発生源であると言える（図 6.2.4）。NO_2濃度とＳＰＭ濃度の地域内最高濃度は 0.4ppb と 0.9 $\mu g/m^3$であり、問題にならないレベルである（図 6.2.5，図 6.2.6）。

カンジオッタのSO_2の地域内最高濃度は 1.5ppb であり、発電所の西南西、約８km の地点に出現する。濃度は低いが、地域内の実測濃度が 3～4ppb であることから、発電所は主要な発生源である（図 6.2.7）。NO_2濃度とＳＰＭ濃度の地域内最高濃度は 0.2ppb と 1.0$\mu g/m^3$であり、問題にならないレベルである（図 6.2.8，図 6.2.9）。





LEGEND

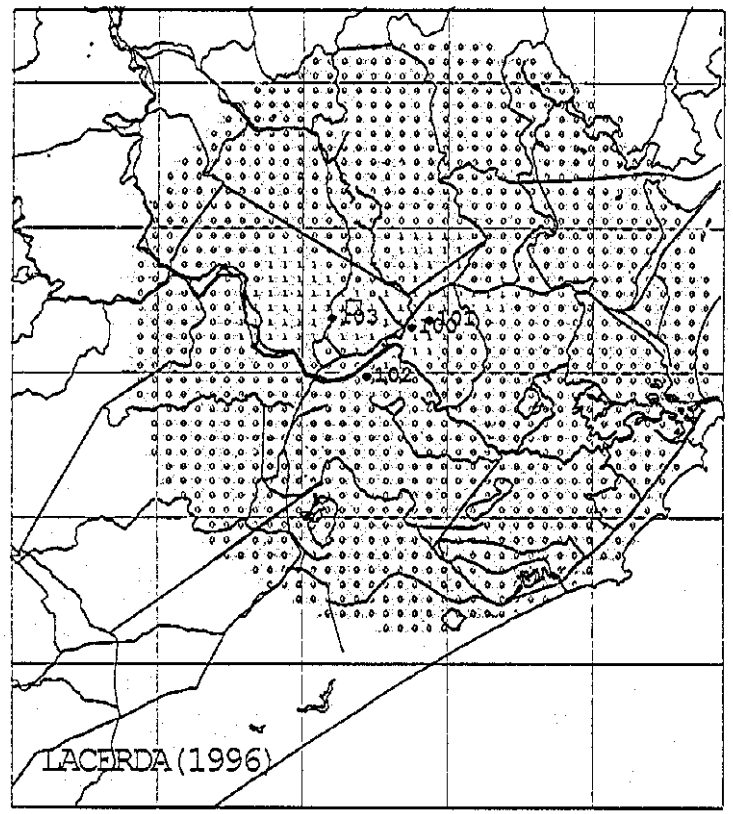
62. < x <= 100. (ppb)	0 grids
31. < x <= 62. (ppb)	0 grids
20. < x <= 31. (ppb)	0 grids
10. < x <= 20. (ppb)	0 grids
6. < x <= 10. (ppb)	31 grids
0. < x <= 6. (ppb)	1265 grids

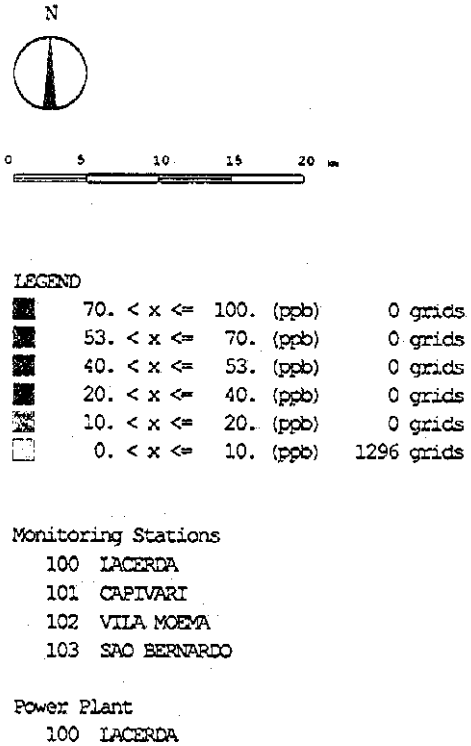
Monitoring Stations
- 100 LACERDA
- 101 CAPIVARI
- 102 VILA MOEMA
- 103 SAO BERNARDO

Power Plant
- 100 LACERDA

SO2 ppb Annual Average □C MAX= 8.5ppb

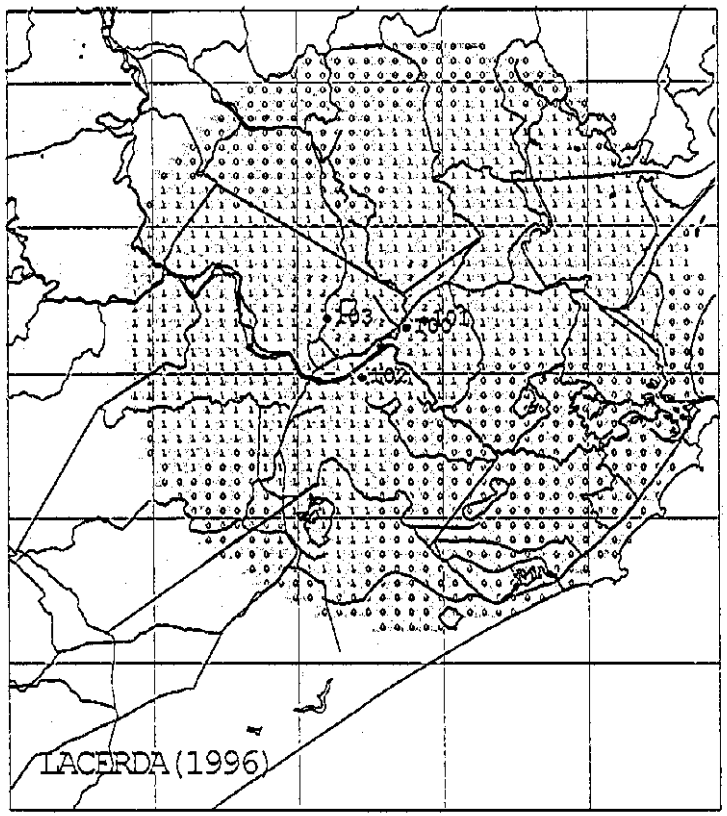
図 6.2.1 年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・現状・SO_2）

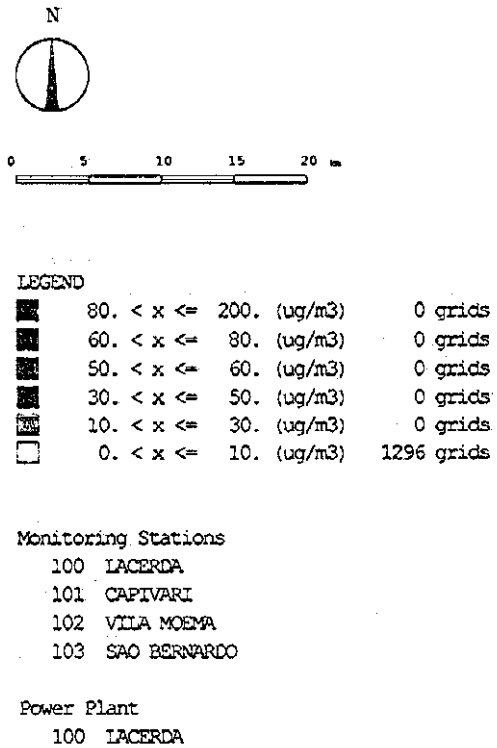




NO2 ppb Annual Average □C MAX= 1.0ppb

図 6.2.2 年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・現状・NO_2）





SPM ug/m3 Annual Average □C MAX= 2.2ug/m3

図 6.2.3 年平均濃度分布（ジョルジュラセルダ・現状・ＳＰＭ）

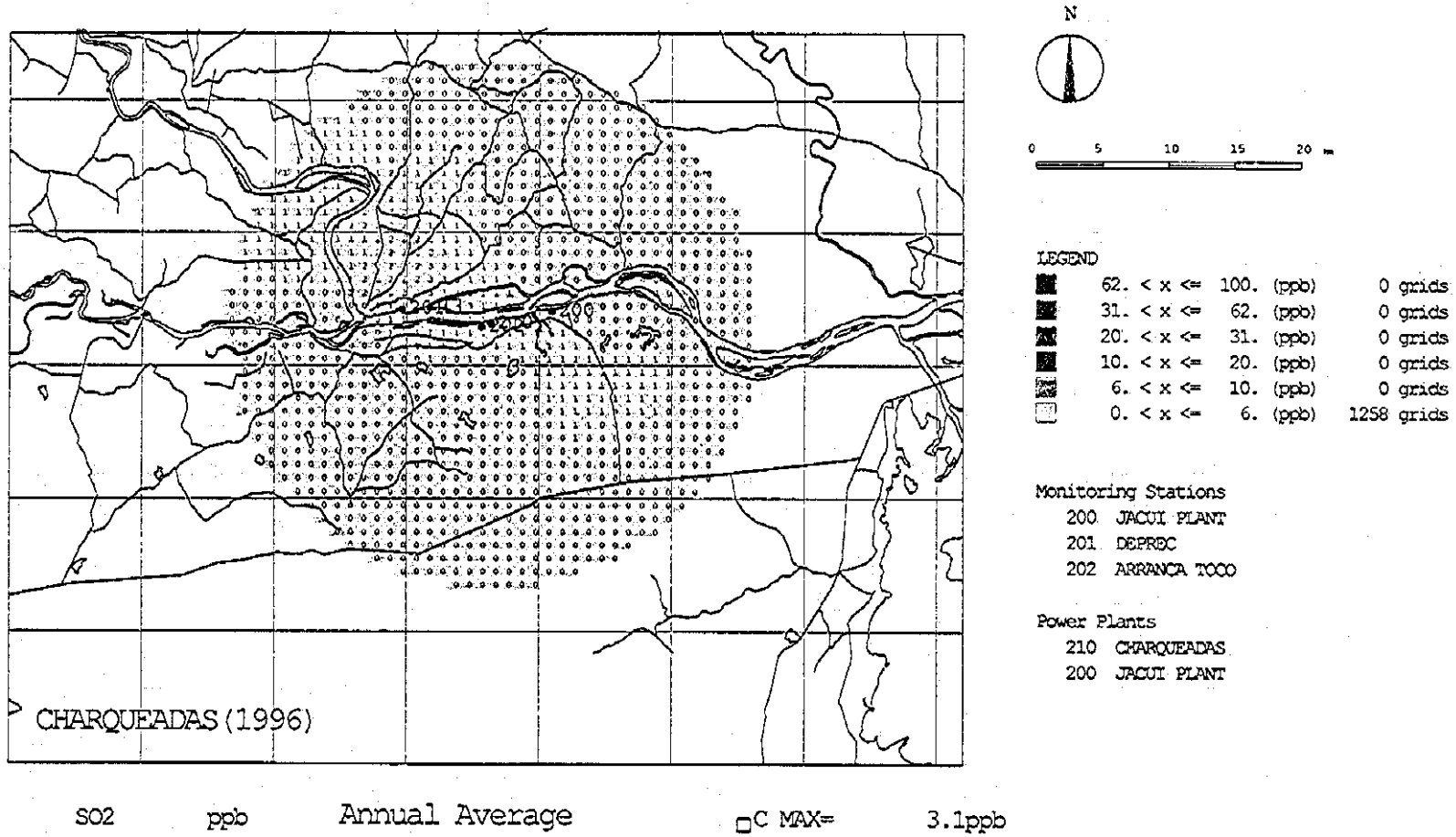


図 6.2.4 年平均濃度分布（シャルケアーダス・現状・SO_2）

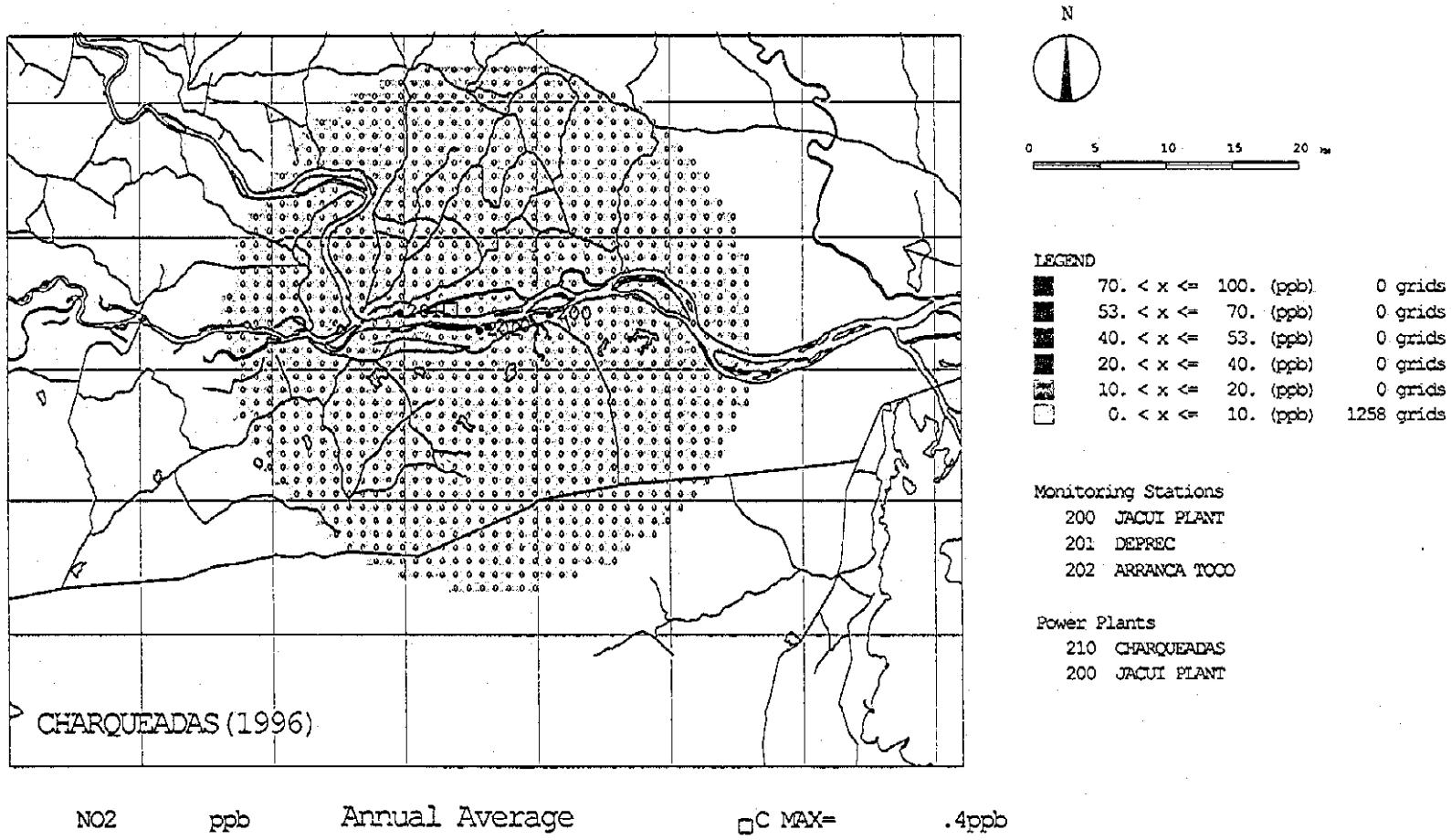


図 6.2.5　年平均濃度分布（シャルケアーダス・現状・NO_2）

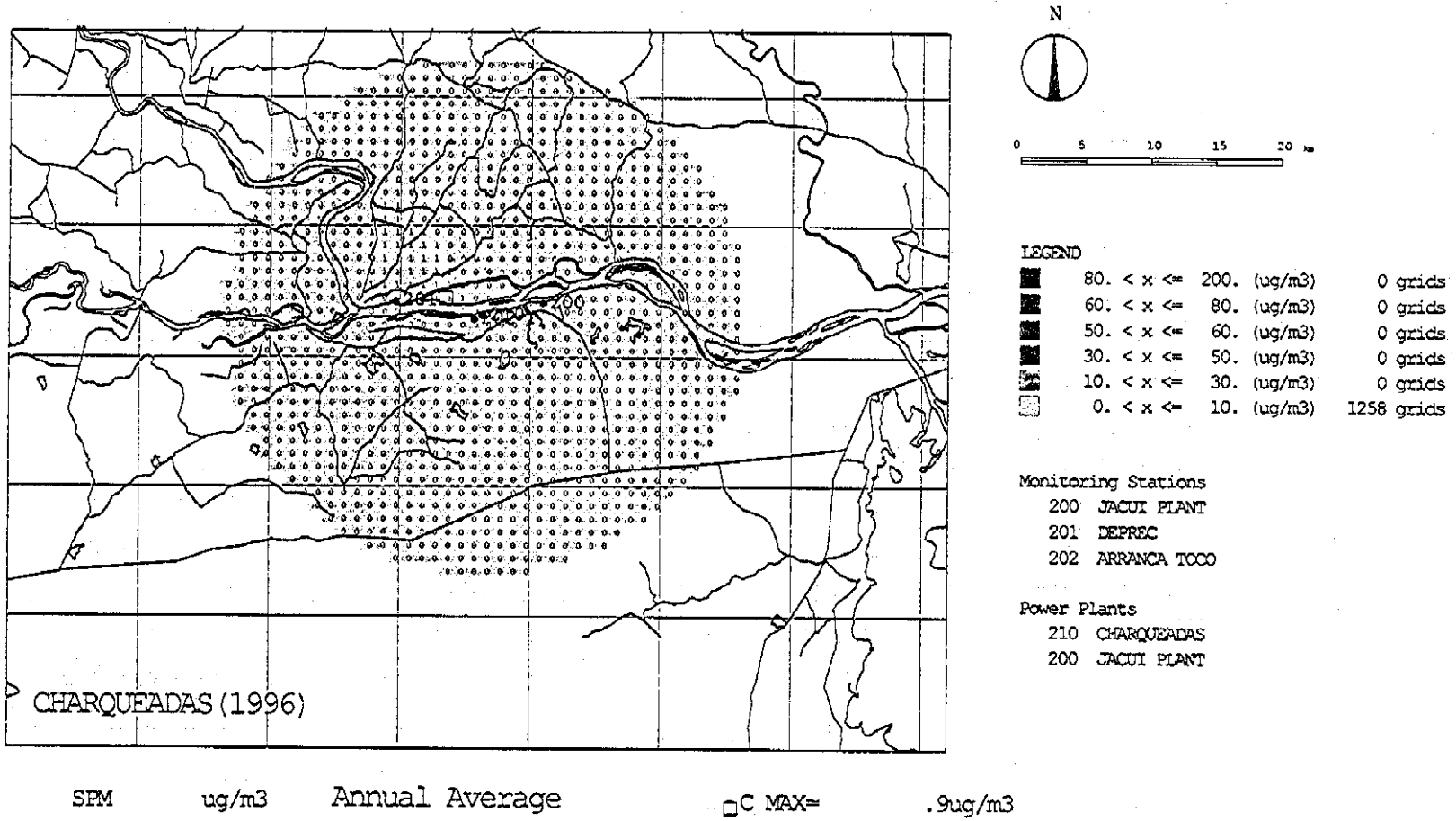
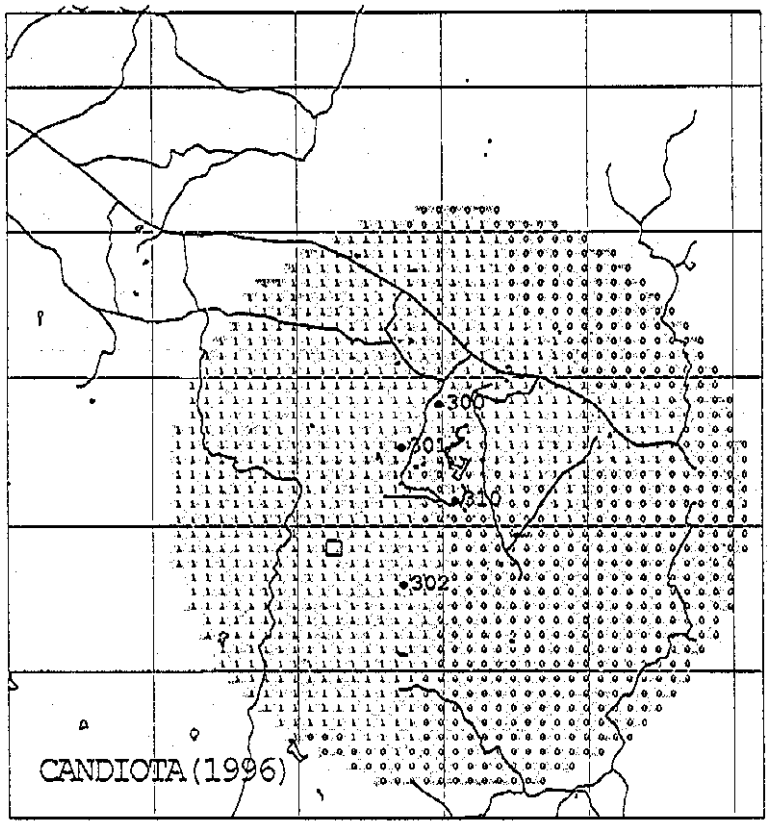
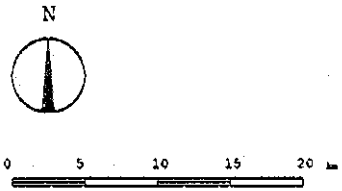


図 6.2.6 年平均濃度分布（シャルケアーダス・現状・ＳＰＭ）





LEGEND

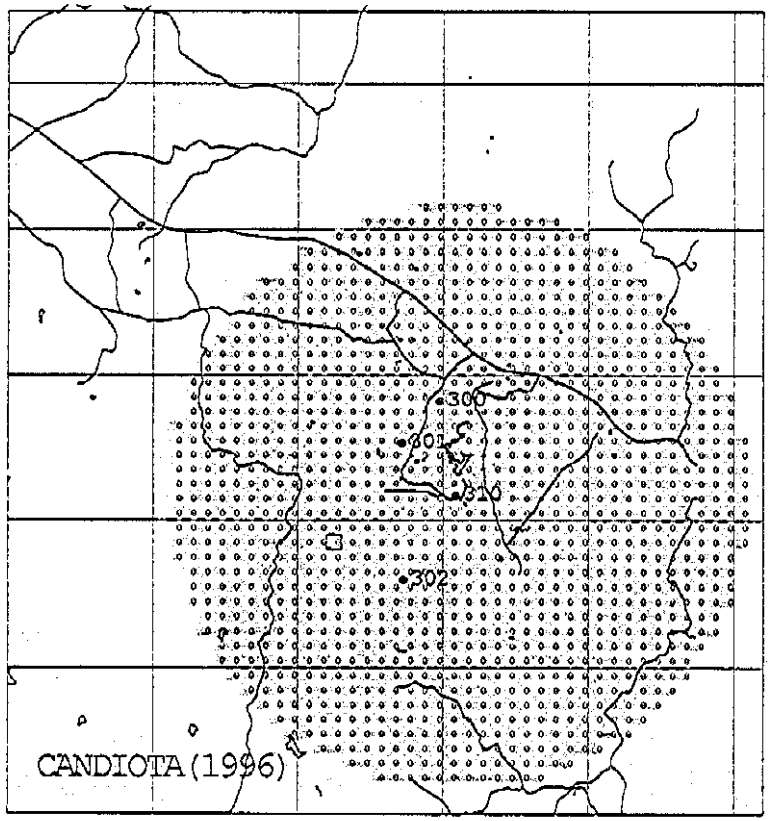
62. < x <= 100. (ppb)	0 grids
31. < x <= 62. (ppb)	0 grids
20. < x <= 31. (ppb)	0 grids
10. < x <= 20. (ppb)	0 grids
6. < x <= 10. (ppb)	0 grids
0. < x <= 6. (ppb)	1259 grids

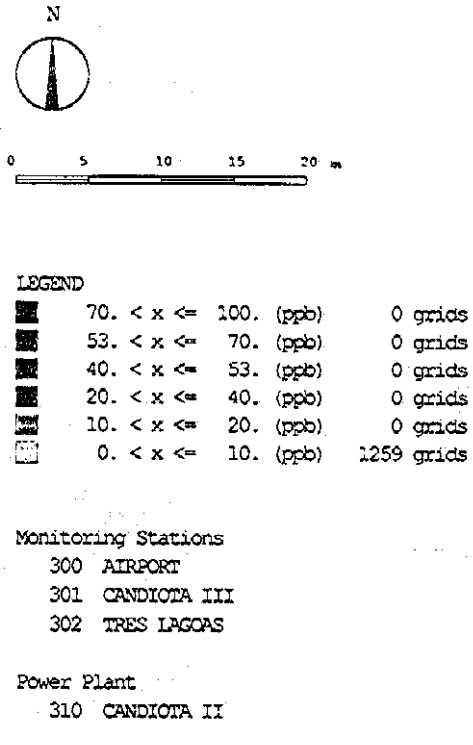
Monitoring Stations
300 AIRPORT
301 CANDIOTA III
302 TRES LAGOAS

Power Plant
310 CANDIOTA II

SO2 ppb Annual Average □C MAX= 1.5ppb

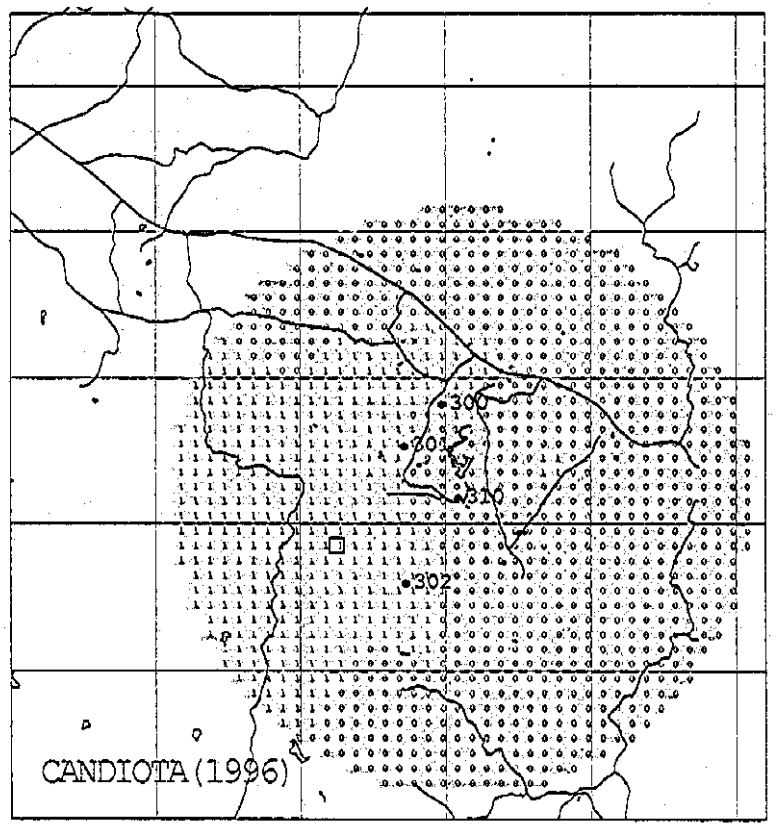
図 6.2.7 年平均濃度分布（カンジオッタ・現状・SO_2）

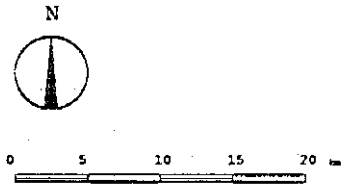




NO2 ppb Annual Average □C MAX= .2ppb

図 6.2.8 年平均濃度分布（カンジオッタ・現状・NO_2）





LEGEND

80. < x <= 200. (ug/m3)	0 grids
60. < x <= 80. (ug/m3)	0 grids
50. < x <= 60. (ug/m3)	0 grids
30. < x <= 50. (ug/m3)	0 grids
10. < x <= 30. (ug/m3)	0 grids
0. < x <= 10. (ug/m3)	1259 grids

Monitoring Stations
- 300 AIRPORT
- 301 CANDIOTA III
- 302 TRES LAGOAS

Power Plant
- 310 CANDIOTA II

SPM ug/m3 Annual Average □C MAX= 1.0ug/m3

図 6.2.9 年平均濃度分布（カンジオッタ・現状・ＳＰＭ）

6.3 測定局における日平均濃度及び1時間濃度

各時間毎の発生源条件・気象条件を用いて、各測定局における汚染物質の1時間濃度及び日平均濃度を計算した。各時間毎の発生源諸元の作成方法や拡散計算式等は年平均値計算と同様である。

各測定局の日平均濃度及び1時間濃度は、環境基準に比べて、かなり低いレベルにある（表6.3.1）。

SO_2日平均値の最高値が最も高かったのは Capivari の 43.3ppb、NO_2時間値は Vila Moema の 29ppb と、どちらもジョルジュラセルダ地域だが、SPM日平均値についてはカンジオッタ地域の CandiotaIII が最も高く 20.3$\mu g/m^3$となっている。カンジオッタでは他地域に比較してSPMの短時間濃度が高くなる傾向がある。シャルケアーダス地域は全ての汚染物質に関して最も濃度が低い。

表 6.3.1 測定局における日平均及び1時間濃度

	SO_2 Daily	NO_2 Hourly	SPM Daily
Capivari	43.3	24	10.9
Vila Moema	17.7	29	4.6
Sao Bernardo	42.7	25	11.0
DEPREC	8.2	5	2.4
Jacui	5.4	6	1.6
Arranca Toco	12.0	4	3.5
Airport	14.3	9	14.7
Candiota III	19.0	9	20.3
Tres Lagoas	16.9	9	18.0
Standard	139.4	170.1	150.0
Unit	(ppb)	(ppb)	(ug/m^3)

6.4 1時間値濃度プロファイル

6.4.1 計算方法

(1) 拡散式

発電所の風下方向のプルーム軸上濃度プロファイルを計算するために、水平方向の拡散パラメータ（σ_y）を含む次式を使った。ただし、計算点高さは地上（0m）とした。

$$C(x,y,z) = \frac{Q_p}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y{}^2}\right) \cdot F$$

$$F = \left\{\exp\left[-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z{}^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z{}^2}\right]\right\}$$

C:	計算点における汚染物質濃度（ppb, μg/m³等）
x:	風下方向の発生源から計算点迄の距離（m）
y:	風下方向の中心軸から計算点迄の距離（m）
z:	計算点の高さ（m）
Q_p:	汚染物質排出強度（m³N/sec, Kg/sec 等）
u:	風速（m/sec）
He:	有効煙突高
σ_y:	水平方向拡散パラメータ（m）
σ_z:	鉛直方向拡散パラメータ（m）

(2) 排出諸元

全てのユニットが最大負荷で運転すると仮定して、負荷率 100%時の排ガス量と汚染物質排出強度を求めた（表 6.4.1）。排ガス温度は年平均値計算の時と同様である。また、各発電所で全ての煙突は同じ位置にあると仮定した。

表 6.4.1(1) 最大負荷時の排ガス量と汚染物質排出量（ジョルジュラセルダ）

煙突番号 接続ユニット	単位	1 1·4	2 5	3 6	4 7
発電量	(MWh)	232	125	125	320
湿り排ガス量	(Km³N/h)	1529.8	785.6	884.8	1126.2
Dust	(Kg/h)	679.9	562.0	108.9	1025.1
SO_x	(m³N/h)	2607.9	1290.1	1388.3	2353.2
NO_x	(m³N/h)	375.5	299.1	332.7	545.6

表 6.4.1(2)　最大負荷時の排ガス量と汚染物質排出量（シャルケアーダス）

煙突番号 接続ユニット	単位	1 1-4
発電量	(MWh)	72
湿り排ガス量	(Km^3N/h)	562.7
Dust	(Kg/h)	173.5
SO_x	(m^3N/h)	586.6
NO_x	(m^3N/h)	179.2

表 6.4.1(3)　最大負荷時の排ガス量と汚染物質排出量（カンジオッタ）

煙突番号 接続ユニット	単位	1 1-4
排ガス温度	(℃)	145.2
湿り排ガス量	(Km^3N/h)	4859.5
Dust	(Kg/h)	3838.9
SO_x	(m^3N/h)	6147.5
NO_x	(m^3N/h)	1135.3

(3)　気象条件

時間値プロファイル計算では、煙突頭頂部の気象条件を設定した（表 6.4.2）。気象条件の設定に当たっては年平均値モデルの設定を参考とした。

表 6.4.2　気象条件の設定

拡散 パラメータ	風速					
	1.0m/s	2.0m/s	3.0m/s	5.0m/s	7.0m/s	9.0m/s
C	○	○	○	—	—	—
CD	○	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○	○
E	○	○	○	—	—	—

6.4.2　1時間値濃度プロファイル

各発電所において全ての汚染物質の最高濃度は、ここで設定した気象条件の中、安定度C、風速 3.0m/s の場合に発生する。　SO_2の風下最高濃度は、ジョルジュラセルダで最も高く 152ppb である。　SO_2の1時間値環境基準は設定されておらず、SO_2の24時間値環境基準は 139.4ppb である。　通常、1時間値環境基準は24時間値環境基準よりも緩