

大気中窒素酸化物総量抑制プロジェクト

「NOx 抑制技術ガイドライン」および「NOx 抑制効果把握手法に係るハンドブック」
普及ワークショッププログラム

日時：2015年11月27日 8:30～17:30

会場：北京凱迪克格蘭雲天大酒店 雲海庁

参加者：中国環境保護部、環境規畫院、地方環境行政、関連企業等

通訳：日→中（逐語） 中→日（同時 あいさつは逐語とする）

午前	
8:30-8:45	開会あいさつ ・中国環境保護部 ・JICA 中国事務所
8:45-9:00	本プロジェクト概要紹介 発表者：JICA 専門家 田畑亨
9:00-9:15	発生源インベントリ構築及び拡散シミュレーションを実施する意義 発表者：環境規畫院 薛文博
9:15-9:45	湘潭市における大気拡散シミュレーションモデルの実施結果 発表者：湘潭市環境保護局 謝焱鑫
9:45-10:00	休憩
10:00-10:20	NOx 抑制効果把握手法に係るハンドブックの概要紹介 発表者：JICA 専門家 仲田伸也
10:20-10:40	質疑応答
10:40-11:00	ガイドライン概要紹介 発表者：環境規畫院 蔣春来
11:00-12:00	湘潭市におけるケーススタディ事例紹介 発表者：湘潭市各関係者 ・湘潭市環境保護局 (10分) 馬躍龍 ・電化集団(25分) 黄小葦、侯瑤 ・湘潭鋼鉄(25分) 何峰、杜力
12:00-13:30	昼食休憩
13:30-16:50	技術ガイドライン各分野紹介 発表者：JICA 専門家 藤井重雄、富田武 13:30-14:15 セメント (藤井) 14:15-14:30 鉄鋼コークス炉 (藤井) 14:30-15:30 鉄鋼焼結炉 (富田) 15:30-15:40 休憩 15:40-16:50 〔石炭火力発電 (藤井) 工業用ボイラ (藤井)〕
16:50-17:20	質疑応答
17:20-17:30	閉会の挨拶

中華人民共和国大気中の 窒素酸化物総量抑制プロジェクト

2015年11月27日
JICA専門家チーム
総括 田畑 亨

1

目次

1. プロジェクトの概要
2. NO_x抑制技術に関する活動(成果1)
3. NO_x抑制効果把握手法に関する活動(成果2)

2

1. プロジェクトの概要

- 上位目標
先進的なNO_x抑制技術及び抑制手法が幅広く活用される。
- プロジェクト目標
NO_x抑制手法が改善される。
- プロジェクト期間
2013年3月～2016年3月
- 主要カウンターパート(C/P)
環境保護部汚染物質排出総量規制司大気処
環境規画院、湘潭市環境保護局

3

326

プロジェクトで期待される成果

- 成果1
NO_x抑制技術に係る技術ガイドラインを作成し、作成した技術ガイドラインが活用される。
- 成果2
大気汚染物質拡散シミュレーションの実施を通じて、NO_x抑制効果把握手法が改善される。

4

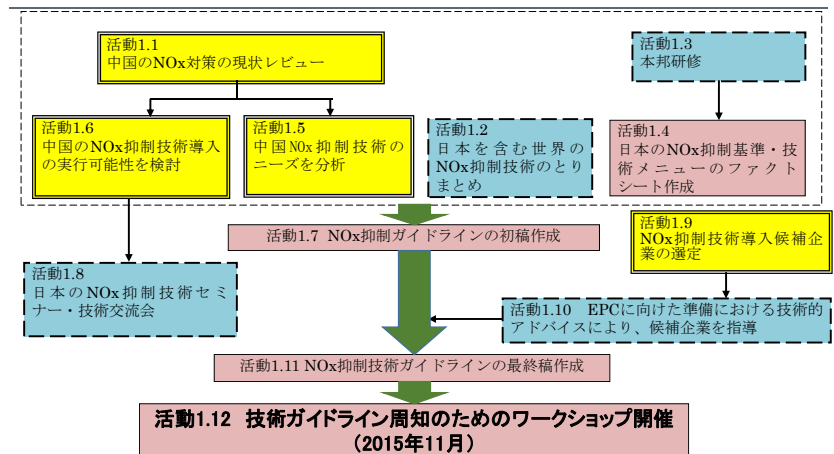
プロジェクト対象地域：湖南省湘潭市



注：地図上に示した点は、環境監測總站が大氣環境基準適合状況を日々広報している都市
 出典：環境監測總站ウェブサイト

5

2. NOx抑制技術に関する活動：成果1



■ : 中国側主導 ■ : 日本側主導 ■ : 中日共同

NOx抑制技術ガイドライン作成に向けた各活動項目の関係

6

湘潭市のモデル企業における対策検討

排ガス濃度・温度、流量、流速の追加測定・担当職員からの聞き取り等により、現状把握を行い、企業が導入を検討し易い省エネの視点も踏まえた課題の抽出し、風箱の組合せによるSOx排出濃度低減、排ガス循環によるNOx排出濃度低減など、中国の新しい排出基準の達成に向けた有効な対策案の検討を実施し、企業に提案した。



不足データの測定



新設工場の計画図確認

7

ガイドライン充実化に向けた専門会合

セメント、鉄鋼焼結炉、工業用ボイラについて、中国における対策の現状やニーズについて理解を深めた。



8

NOx抑制技術セミナー・技術交流

これまでの活動内容を周知し、中国のNOx抑制対策の現状や今後の対策計画について理解を深めた。また、世界で導入されている対策技術の紹介を行ったほか、今後の技術導入の参考となるよう日本企業が有するNOx抑制技術について、講演やブース展示を行った。



9

NOx抑制技術に係るガイドライン

- ・対象業種におけるNOx排出削減対策技術
- ・湘潭市のモデル企業における対策検討
- ・測定結果に基づきNOx排出マップを作成し、NOx排出削減余地、省エネルギー余地を検討
- ・EPCの準備段階における技術的アドバイス
- ・ガイドライン充実化に向けた専門家会合
- ・NOx抑制技術セミナー、技術交流

ガイドライン初稿の作成(2015年3月)

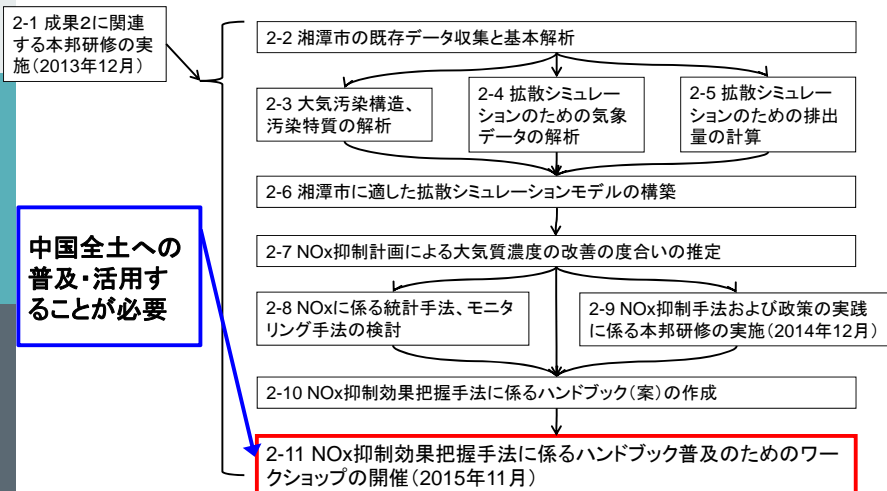
← 環境保護部の評価会

ガイドライン最終稿の作成(2015年10月)

ガイドライン周知のための総括ワークショップ(2015年11月)

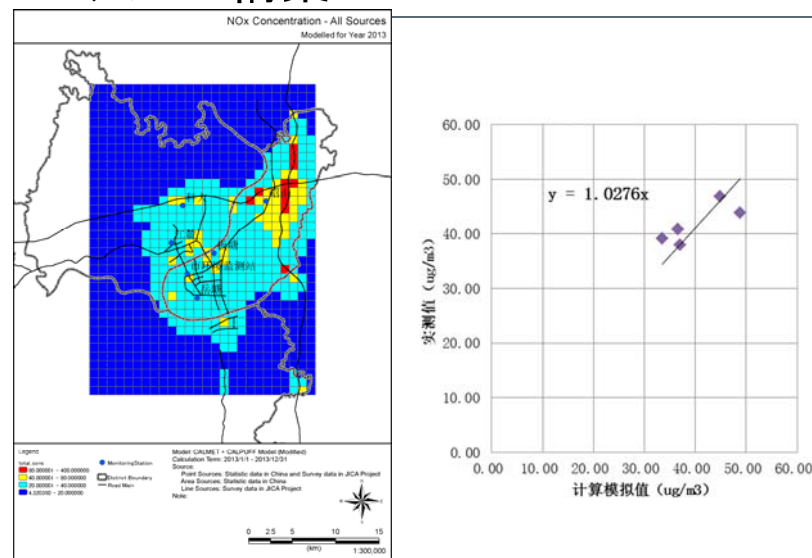
10

3. 成果2の各活動の関連図



11

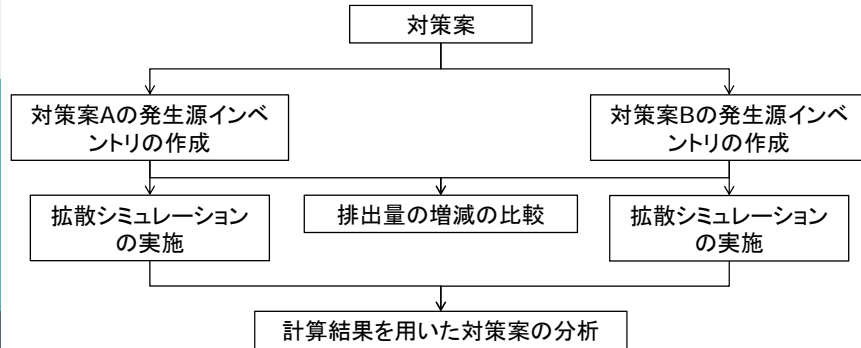
湘潭市に適した拡散シミュレーションモデルの構築



328

12

NOx抑制計画による大気質濃度の改善の度合いの推定



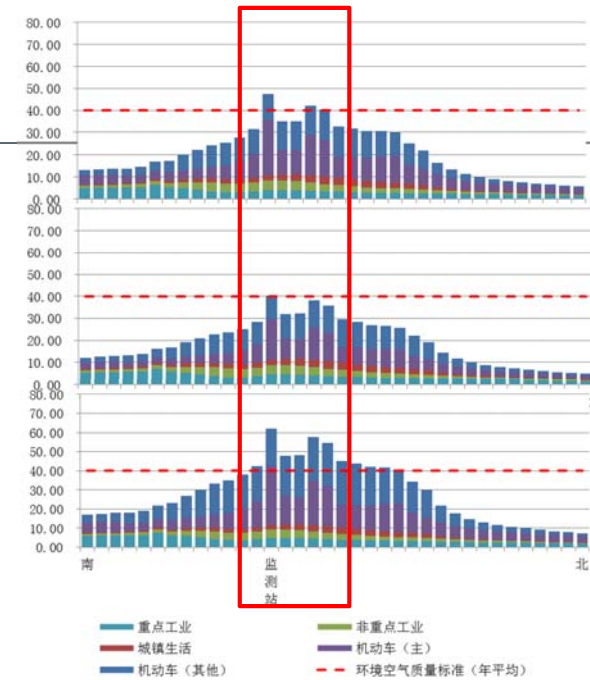
本プロジェクトでは、湘潭市の排出量削減計画について、以下のケースで計算した
 対策案A: 全く実施されなかった場合、対策案B: 完全実施された場合

今後の対策案でも、上記の方法で分析が可能。

2013年

2015年計画完全実施

2015年計画未実施



NOxに係る統計手法、モニタリング手法の検討



黄色: 保留する元々ある地点
 緑色: 移転必要の地点
 青: 新設候補地点



本邦研修の実施

研修分野	NOx抑制手法及び政策の実践
研修期間	2014年11月23日(日)~2014年11月29日(土)
研修参加者数	16名(うち、湘潭市から4名)
研修概要	<p><机上講習> 日本における総量規制制度(日本環境省) 地方自治体における大気汚染対策(東京都、川崎市) 拡散シミュレーションモデルによる総量抑制効果把握手法(数理計画)</p> <p><現場見学> 大気質モニタリング・分析施設の見学(川崎市) セメント工場におけるNOx対策(太平洋セメント) 石炭火力発電所におけるNOx対策(磯子火力発電所) 低NOxボイラの工場での利用例(三浦工業)</p>



NO_x抑制効果把握手法に係るハンドブック(案)の作成

湘潭市での活動及び環境規画院との協議を基に作成



←環境保護部との評価会

NO_x抑制効果把握手法に係るハンドブック(最終稿)

- 第1章 要約
- 第2章 大気拡散シミュレーションモデルを利用する目的
- 第3章 基準年のモデル化
- 第4章 排出削減計画の評価
- 第5章 参考資料
- 第6章 参考文献

中国環境管理における大気質モデルの利用

薛文博 副研究員
環境保護部環境規画院
2015-11-27

1

内容

- 一、大気質モデルの発展及び分類
- 二、大気質シミュレーションの重要性
- 三、中国の環境管理における利用
- 四、今後の展望

2

一、大気質モデルの発展及び分類

- **定義:** 大気質モデルは、大気物理及び化学を基に、気象学の原理及び数学的手法を運用して、汚染物質の大気における輸送・反応・除去等の過程を再現する電算ツールである。
- **実践:** 大気質モデルは世界で環境影響評価、重要科学研究、重度汚染天気予報、環境対策制定に幅広く利用されており、最近の「国家大気汚染防止行動計画実施効果把握」、「APECブルー」「閩兵ブルー」等の重要会議の大気質保障で重要な役割を果たした。

3

一、大気質モデルの発展及び分類

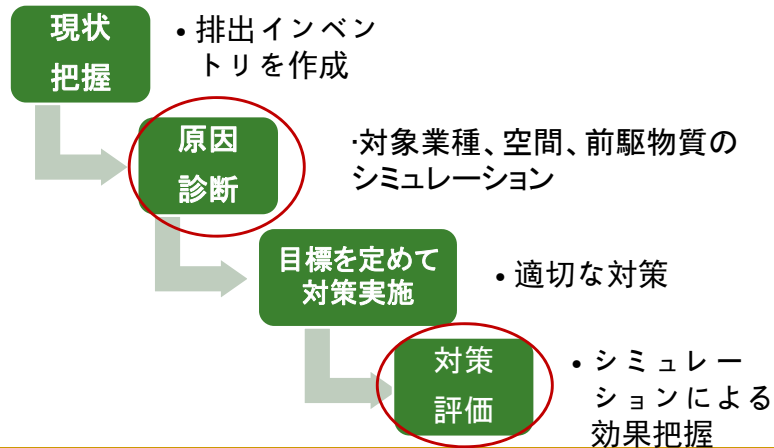
US EPA又はその他の機関が共同で三代目の大気質モデルを開発した。

- **70、80年代:** EPAが一代目の大気質モデルを発表。
 - ーメリット: 簡単で使いやすい。
 - ーデメリット: 化学過程が簡単すぎる。
- **80年代～90年代:** 二代目の大気質モデルはUAM、ROM、RADMを含むオイラーグリッドモデル。
 - ー特徴: 化学過程がある。但し、主にオゾン等の光化学汚染のシミュレーションに使用される。
- **90年代以降:** CMAQ、CAMx、WRF-CHEMを代表とする総合大気質モデルは三代目の大気質モデルである。
 - ー特徴: 化学過程が複雑、気体・固体・液体の多相汚染過程のシミュレーションができる。

4

二、大気質シミュレーションの重要性

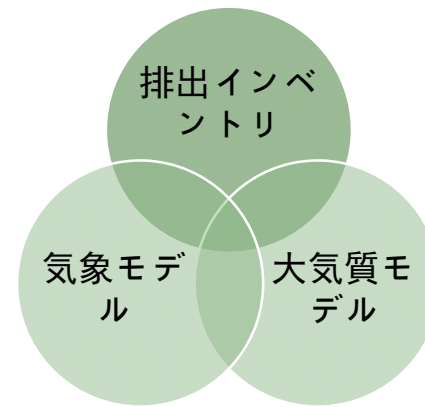
大気質シミュレーションモデルは、現在対策案の制定に唯一の早く対策が決められる有効なツールである。



環境対策制定四ステップ

5

二、大気質シミュレーションの重要性



大気質シミュレーション三要素

- **インベントリ**: 工業発生源、生活発生源、交通発生源、農業発生源、自然発生源、ダストなど不特定な発生源—**キーポイント!**
- **気象モデル**: 信頼できる気象データ、適切な気象モデルを選択
- **大気質モデル**: CMAQ、CAMx、WRF-Chem及びCALPUFF等。

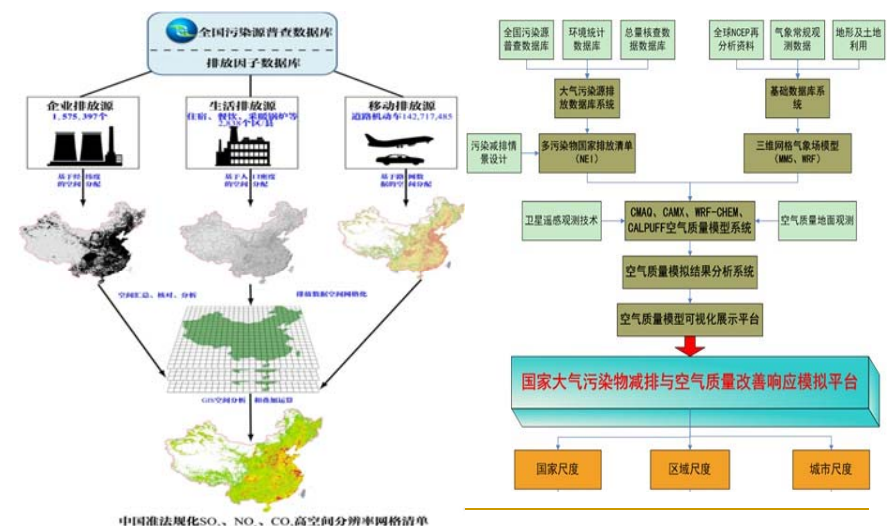
6

三、中国の環境管理における大気質モデルの利用

- **事例1**: 国家大気汚染防止行動計画効果の事前評価
- **事例2**: 全国PM_{2.5}の地域間輸送特性及び大気環境容量シミュレーション

7

国家レベル大気環境対策分析プラットフォーム

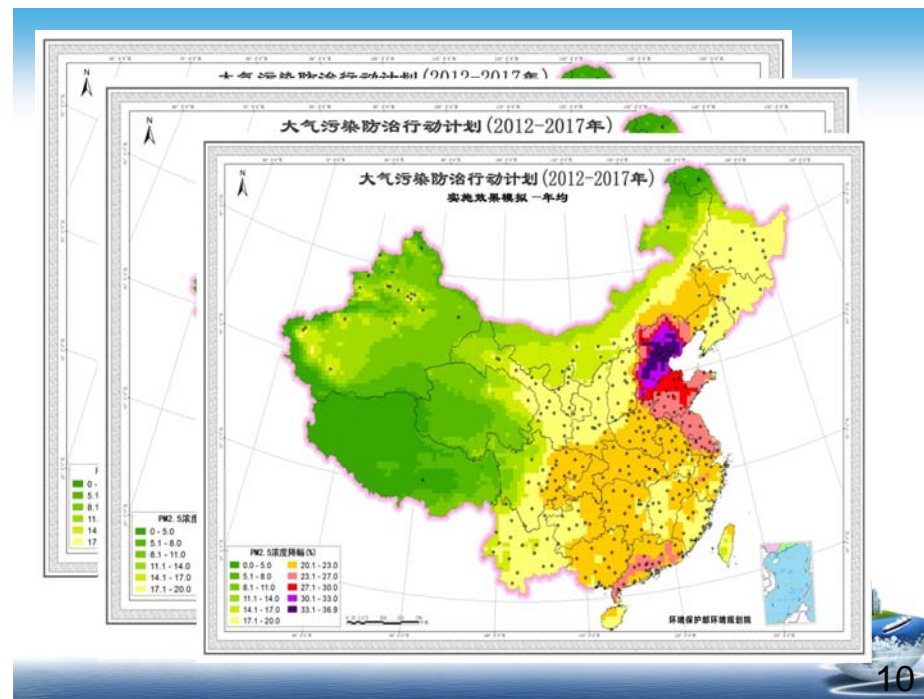


8

事例1: 国家大気汚染防止行動計画効果の事前評価

計画目標: 2017までに京津冀、**長江デルタ**、**珠江デルタ**等の地域でのPM2.5はそれぞれ約25%、20%、15%低減。そのうち、北京市のPM2.5の年平均濃度は60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後に抑える。

注目すべき問題: 行動計画で規定された1項目の汚染対策措置(国十条)実施後、PM2.5が一体どのぐらい低減できるか、予期目標を達成できるか。



評価結果

地域	統計対象都市数	1月の低減幅	7月の低減幅	年平均低減幅
長江デルタ	25	23.09	26.20	23.89
珠江デルタ	9	24.37	23.27	24.04
京津冀	13	33.66	35.02	33.99
全国	333	21.78	23.02	22.08

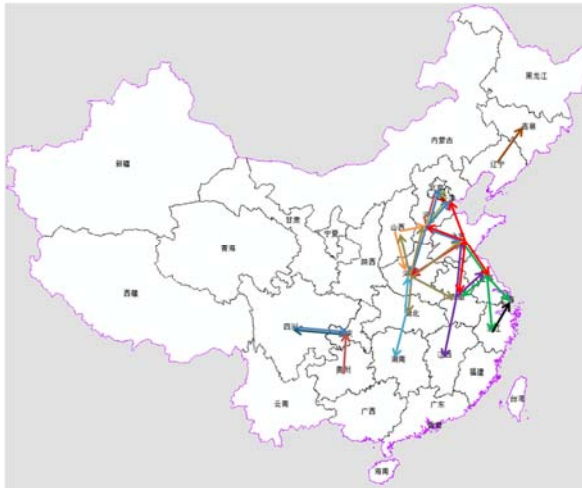
国が「大気汚染防止行動計画」を実施した後、**全国・京津冀・珠江デルタ・長江デルタ**のPM2.5の平均濃度はそれぞれ**22%、34%、24%、24%**下がり、「計画」設定の目標が合理的で達成できる。



事例2: 全国PM2.5の地域間輸送及び大気環境容量シミュレーション

	北京	天津	河北	山西	内モンゴル	遼寧	吉林	黒龍江	上海	江蘇	浙江	安徽	福建	江西	山東	河南	湖北	湖南	広東	海南	重慶	四川	貴州	雲南	チベット	陝西	甘粛	青海	寧夏	新疆								
北京	63.4	24	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
天津	6.58	26	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
河北	5.6	64	5	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0							
山西	0	0	4	69	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	1	0	0							
内モンゴル	0	0	3	3	78	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	3	0	0							
遼寧	1	1	5	1	7	67	3	2	0	2	0	1	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
吉林	0	0	3	1	8	22	52	8	0	1	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
黒龍江	0	0	1	0	4	4	8	80	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
上海	0	0	2	1	1	1	0	0	46	27	11	4	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
江蘇	0	1	3	2	1	1	0	0	2	50	5	19	0	0	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
浙江	0	0	3	2	1	1	0	0	4	17	52	8	1	1	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
安徽	0	0	4	2	1	1	0	0	1	9	2	58	0	2	8	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
福建	0	0	2	1	1	1	0	0	1	6	9	5	59	3	4	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
江西	0	0	2	2	1	0	0	0	4	3	10	1	52	4	4	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
山東	1	2	12	2	1	1	0	0	0	6	1	5	0	0	59	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
河南	0	0	9	8	3	1	0	0	0	1	0	3	0	0	5	63	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
湖北	0	0	3	3	1	0	0	0	0	2	1	6	0	4	3	10	58	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
湖南	0	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	3	0	5	2	5	10	61	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
広東	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2	4	5	6	3	2	2	3	65	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
海南	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3	1	3	2	4	5	12	8	54	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
重慶	0	0	2	2	1	0	0	0	0	3	3	5	4	5	3	3	4	6	24	4	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
四川	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	69	13	10	1	0	1	0	0	0	0		
貴州	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	0	3	0	4	8	63	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
雲南	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	3	0	3	9	13	64	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
チベット	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
陝西	0	0	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	4	1	0	0	0	2	4	1	0	0	69	3	0	2	0	0	0	0	0	0		
甘粛	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	8	1	0	0	9	67	4	4	0	0	0	0	0	0	0		
青海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
寧夏	0	0	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	1	65	0	0	0	0	0			
新疆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

中国の華東、西南の二大地域への流入が顕著



- ▶ 京津冀、長江デルタ及び山東、山西、河南、湖北、安徽等等11省市間;
- ▶ 重慶、四川、貴州の3省市間に顕著な相互輸送関係が存在している。

流入先の省のPM2.5年平均濃度への影響は $\geq 3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

PM2.5排出基準の下での環境容量— 地域間輸送・化学過程を考慮して

省	SO ₂	NO _x	一次PM _{2.5}	NH ₃	省	SO ₂	NO _x	一次PM _{2.5}	NH ₃
北京	4.11	6.79	2.79	1.35	湖北	31.37	24.21	21.67	29.09
天津	8.68	10.7	3.57	1.57	湖南	34.09	25.59	18.03	29.07
河北	48.58	51.19	23.19	19.55	広東	68.95	105.72	37.21	35.16
山西	85.37	66.08	34.78	10.9	広西	50.5	38.4	41.15	32.16
内モンゴル	130.96	118.77	42.67	39.52	海南	3.11	8.03	3.18	6.84
遼寧	72.81	59.05	29.12	20.48	重慶	35.07	20.78	14.32	15.55
吉林	32.53	42.98	21.81	17.72	四川	37.9	23.88	27.72	39.09
黒竜江	39.19	55.01	24.34	24.08	貴州	63.81	23.2	19.04	16.92
上海	14.4	22.78	5.4	1.7	雲南	65.47	46.52	31.76	47.26
江蘇	52.38	63.37	24.57	28.4	チベット	0.42	3.83	0.57	9.59
浙江	39.74	45.36	14.15	11.59	陝西	60.43	47.06	21.5	19.15
安徽	20.78	30.71	16.8	17.52	甘肅	52.06	35.24	18.51	17.64
福建	39.05	43.71	18.73	18.91	青海	14.37	9.89	5.98	6.85
江西	41.86	39	16.1	16.48	寧夏	34.61	35.85	6.85	5.91
山東	70.92	57.17	33.85	27.61	新疆	62.33	53.33	17.75	24.73
河南	47.39	44.27	21.92	35.32	合計	1363.26	1258.48	619.04	627.71

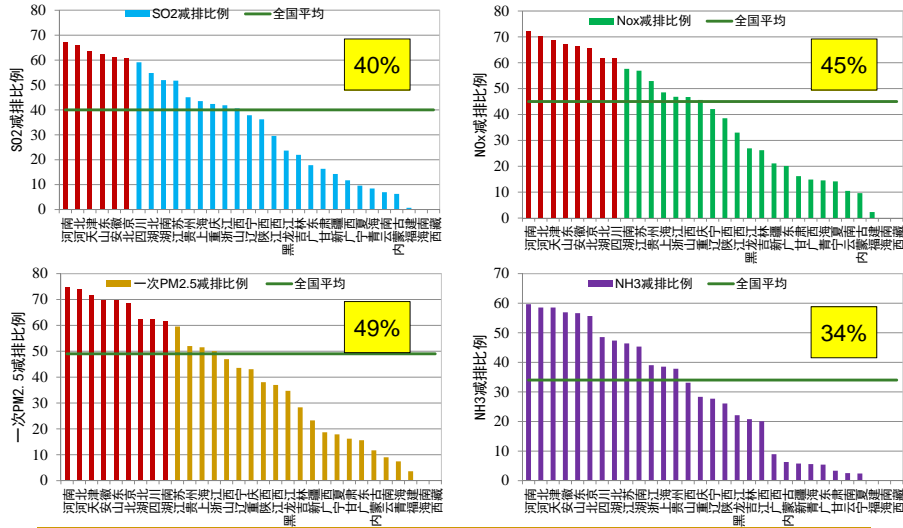
各省の環境容量超過率

超過率(%)	>150	[100,150)	[50,100)	(0,50)	未超過
SO ₂	河南、河北、天津、山東、安徽、北京	四川、湖北、湖南、江蘇	貴州、上海、重慶、浙江、山西、遼寧、陝西、	江西、黒竜江、吉林、広東、甘肅、新疆、広西、寧夏、青海、雲南、内モンゴル、福建	海南、チベット
NO _x	河南、河北、天津、山東、安徽、北京、湖北、湖南	江蘇、貴州、上海、浙江	山西、重慶、遼寧、陝西	江西、黒竜江、吉林、新疆、広東、甘肅、広西、青海、寧夏、雲南、内モンゴル、福建	
一次PM _{2.5}	河南、河北、天津、安徽、山東、北京、湖北、四川、湖南	江蘇、貴州、上海、浙江	山西、遼寧、重慶、陝西、江西、黒竜江	吉林、新疆、広西、寧夏、甘肅、広東、内モンゴル、雲南、青海、福建	
NH ₃	—	河南、河北、天津、安徽、山東、北京	四川、湖北、江蘇、湖南、浙江、上海、貴州	山西、重慶、遼寧、陝西、黒竜江、吉林、江西、広西、内モンゴル、新疆、青海、広東、甘肅、雲南、寧夏、福建	

三大重度汚染地域の環境容量超過が最もひどい

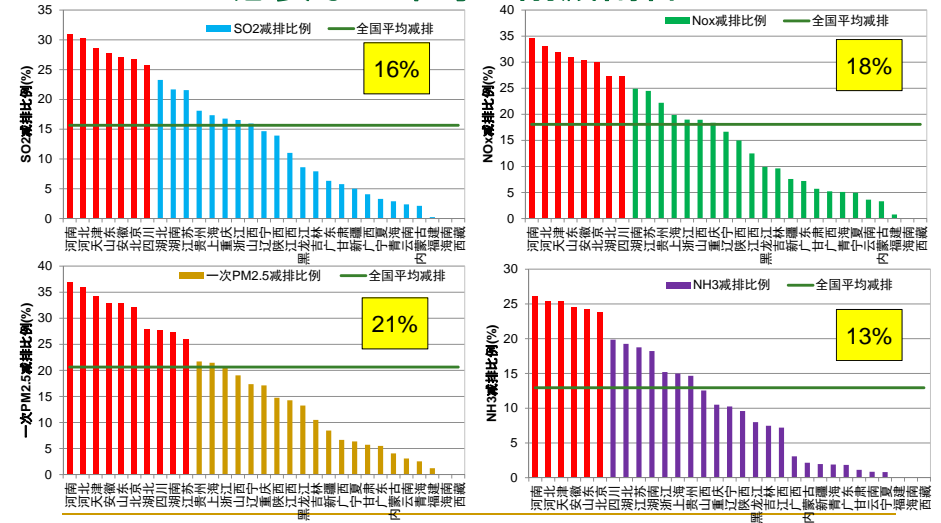
- ▶ 「北京—西安—杭州」を頂点とする大気重度汚染デルタ(主に北京、天津、河北、河南、山東、江蘇、浙江、上海、安徽等の省市を含む)。
- ▶ 四川盆地成渝汚染地域(四川、重慶等);
- ▶ 長江中下流両湖平原の武漢都市群及び長株潭都市群(湖北、湖南等)。

PM2.5年平均濃度基準を達成するために合計でどのぐらい削減する必要があるか



17

2030年までPM2.5の排出基準を達成するために必要な五年毎の削減割合は？



18

四、今後の展望

- 設定した大気質目標に基づいて排出削減対策案を最適化する——最大の排出削減量又は最少のコストを目標とする。
- 大気質基準の下での「十三・五」の各省、各重点業界、各汚染物質の「三つの視点」での排出削減目標を検討し、管理・対策制定の参考にする。

19

ご清聴ありがとうございました



20

大気拡散シミュレーションモデルの活用 ～湘潭市の事例～

2015年11月27日
湘潭市環境保護局
謝焱鑫

目次

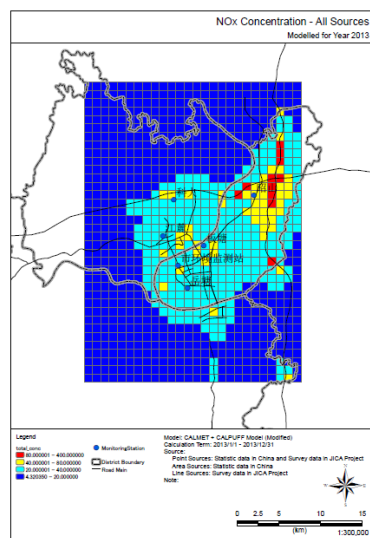
1. 活動成果
2. 各活動の概要
3. 対策案の有効性評価
4. 大気拡散シミュレーションモデルの活用
5. 本活動における不足点

1

1. 活動成果(1)

• 2013年の濃度分布図

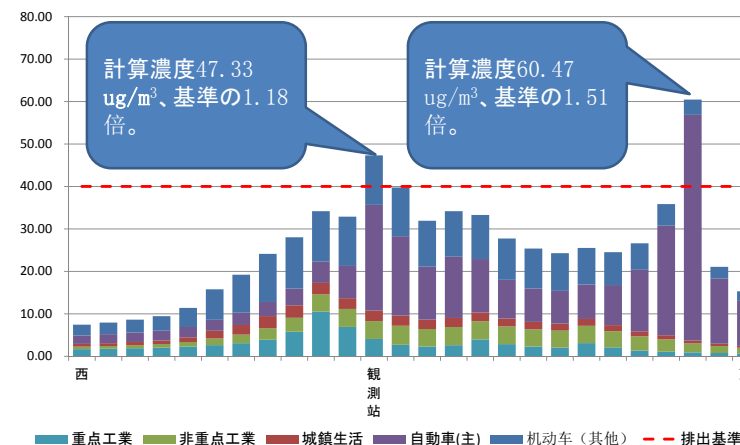
2013年濃度計算結果から見れば、湘潭市のNO₂排出濃度はたいてい国家基準GB3095-2012年平均値二級基準(40ug/m³、水色と青色のグリッド)以下にあるが、湘潭東北部の昭山あたりは基準をはるかに超えており、都市中心部の観測站あたりも基準を超えているところがある。基準を超えた地域は幹線道路の近くにあり、線源からの影響が大きい。基準達成には、道路の発生源の排出量を削減する必要がある。



2

1. 活動結果(2)

• 2013年の寄与濃度断面図



3

2. 各活動の概要

1. 気象・大気環境データ解析
2. 固定発生源インベントリの作成
3. 移動発生源インベントリの作成
4. 大気拡散シミュレーションモデルの構築

4

2-1 気象・大気環境データ分析

項目		内容
期間		2013年1月1日-12月31日
大気質データ	測定局	市観測站、江麓、板塘、昭山、岳塘、科大(6地点)
	測定項目	SO ₂ 、NO ₂ 、CO、O ₃ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5}
気象データ	自動測定局測定項目	大気温度、大気湿度、風向、風速、大気圧
	湘潭氣象局測定項目	気温、降水量、気圧、相对湿度、風向、風速、雲量、雲底高度、視程

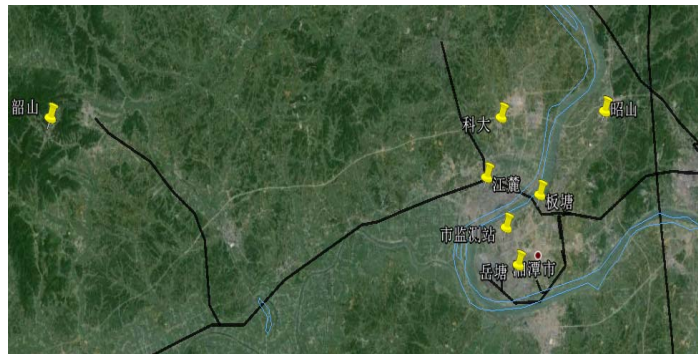
異常値の削除

NO₂を例とする。異常値該当条件:<5ug/m³又は>450ug/m³。気象データの異常値該当条件:大気温度<-30°Cの温度値及び対応する大気湿度、風向、風速、大気圧。

5

2-1 気象・大気環境データ分析

4) 自動測定局分布図

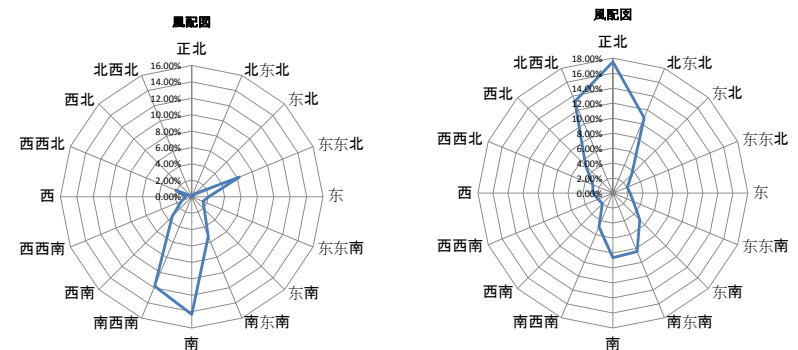


6

2-1 気象・大気環境データ分析

データ解析

1) 風配図



観測站風配図

氣象局風配図

7

2-1 気象・大気環境データ分析

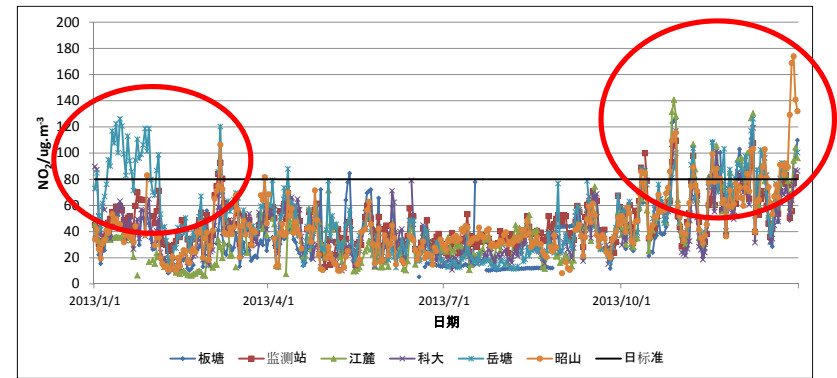
2) 濃度分析 (NO₂24時間平均濃度を例とする)

測定地点	NO ₂ 最大24時間平均 (ug/m ³)	最大値基準超過倍数	規準超過頻度 (%)	24時間平均濃度規準 (ug/m ³)
岳塘	126.25	0.58	17.54	80
市観測站	109.63	0.37	4.27	80
科大	119.29	0.49	6.31	80
昭山	173.96	1.17	9.04	80
板塘	126.04	0.58	8.90	80
江麓	140.79	0.76	8.23	80

8

2-1 気象・大気環境データ分析

2) 濃度結果分析 (NO₂濃度日平均値を例とする。)



図から各地点のNO₂日平均値に差があることは分かる。秋に基準超過現象があり、そのうち岳塘測定局はるかに超えている。季節から見れば、冬の超過は多く、夏の超過は少ない。

9



10



338

2-2. 固定発生源インベントリの作成

• 重点工業企業汚染源のインベントリ作成

調査企業数: 46社

そのうち、岳塘区 11社, 雨湖区 5社
高新区 2社, 九華経済開区 1社
湘郷市 10社, 湘潭県 17社

調査業種: 鉄鋼、火力発電、セメント、建材、ガラス、
化学工業、食品等

調査内容: 設備概要、煙突情報、燃料特性及び大気汚染
防止対策に関する企業計画等

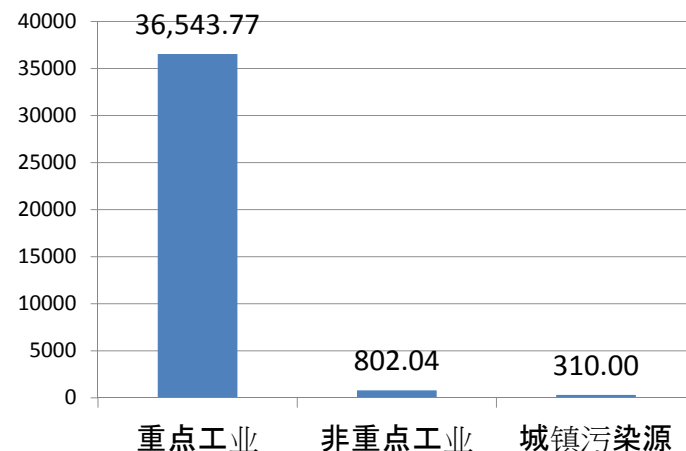
• 非重点、城鎮発生源インベントリの作成

本プロジェクトにおいて、非重点発生源インベントリは環境統計
総108表に基づいて作成し、城鎮発生源インベントリは環境統計
総302表に基づいて作成した。

12

2-2. 固定発生源インベントリの作成

• 結果まとめ(単位:トン)



13



339

2-3 移動発生源インベントリの作成

• 自動車発生源インベントリの作成

1) 交通量調査

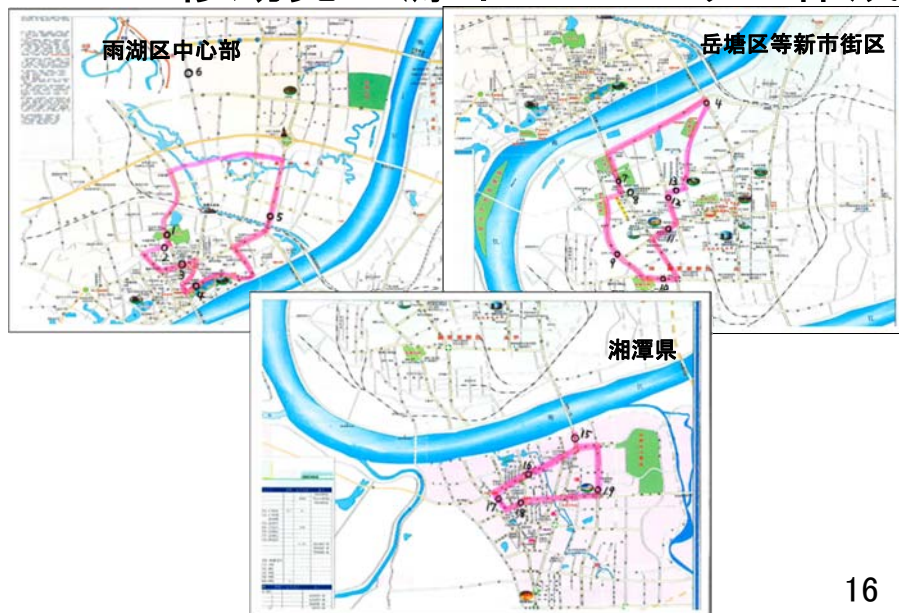
湘潭市岳塘区、雨湖区、湘潭県の25地点(休日7地点)で24時間
調査を実施した。各地点で車種別時間帯別に通過台数を統計
した。

2) 旅行速度調査

- 時間帯: 6:00~24:00
- 地域: 岳塘区、雨湖区、湘潭県(走行ルートは下図参照)で車3
台使用
- 調査内容: 走行した道路名、車線数、時刻、状況(休憩・食
事・給油等の停止情報、事故・道路工事等の平常時と異
なる状況の情報)を記録。
- 計算方法: 記録したデータに基づき、道路別時間帯別に平均
旅行速度を計算。

15

2-3 移動発生源インベントリの作成



16

2-3 移動発生源インベントリの作成

- 調査結果のまとめ
調査した交通量、旅行速度、排出係数(自動車排汚監視センター提供)、距離数等のデータを使用して線源排出量を計算する。計算した幹線道路の線源排出量は4,495.82トンである。

$$-Q = \sum (EF \times Cnt \times Len)$$

- Q 排出量(g)
- EF 排出係数(g/km/台)
- Cnt 自動車数(台)
- Len 距離数(km)

17

2-3 移動発生源インベントリの作成

- 幹線道路以外の道路の自動車発生源インベントリの作成
幹線道路以外の自動車発生源インベントリの作成は、主に環境統計総402表により面源として計算する。ここで湘潭市のナンバーの自動車のうち、90%が湘潭市内を走り、その他の部分を計算されない。計算式は次のようである。

面源発生源(幹線道路を除く)

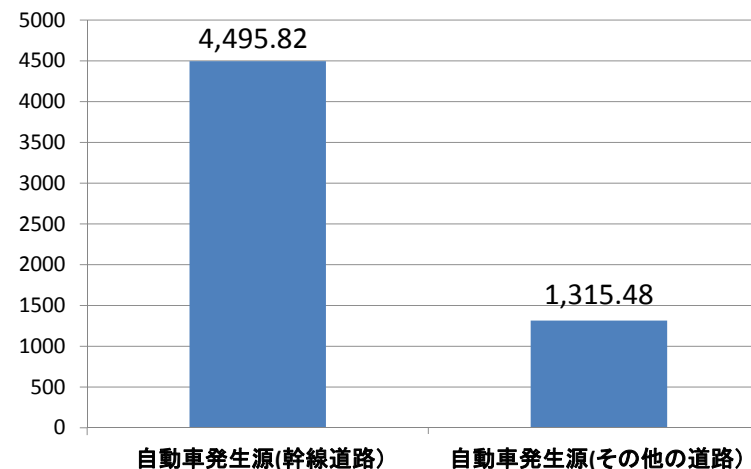
= 湘潭市自動車排出量総量の90% - 調査した幹線道路の排出量

環境統計総402表により、湘潭市2013年の自動車Nox排出量総量は6,457トンで、幹線道路の排出量は4,495.82トンである。計算した面源総量は1,315.48トンである。

18

2-3 2-3 移動発生源インベントリの作成

- 移動発生源排出グラフ(単位:トン)



19



2-4 大気拡散シミュレーションモデルの構築

- 採用したモデルの概要拡散シミュレーションの設定
- 活動の様子
- 2013年の拡散シミュレーション結果表示

21

2-4-1 採用したモデルの概要

- 拡散モデルの選定条件
 - 中国で推奨されている拡散モデルであること
 - モデル及び各種データが安価で入手できる拡散モデルであること
 - 排出量と寄与濃度が線形関係の大気拡散シミュレーションモデルであること

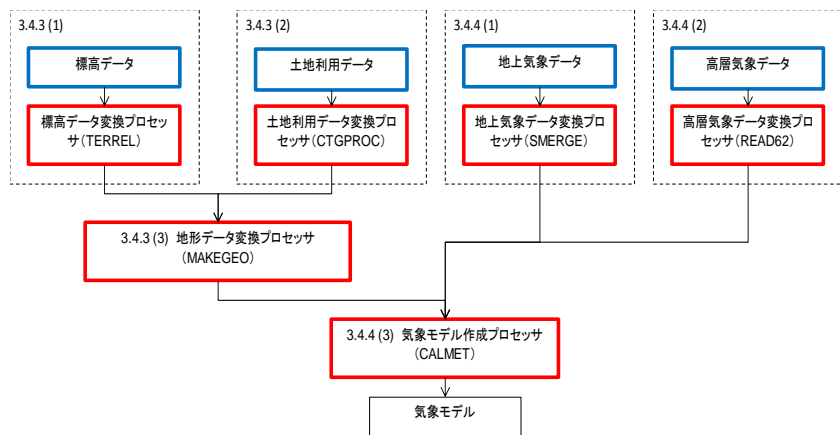
22

代表的な拡散モデル概要

モデル種類	メリット	デメリット	適用範囲
ISCST3	二次生成を考慮しないため、計算時間が短い	現在はUS-EPA推奨外モデルである	50km以下
ADMS-EIA	詳細な物理過程が考慮されている	有料である(約6万円/ライセンス)	50km以下
AERMOD	地表面に近い高さでの動きの詳細な解析が可能	PUFFモデルが考慮されていない	50km以下
CALPUFF	PUFFモデルを使うため、弱風時でも計算が可能 化学反応モデルの考慮の有無を選択できる	計算の時間を要する	マルチスケール (局地、都市、地域)
CMAQ	大気汚染物質間の相互影響、多くの物理・化学過程を扱うことができる	計算過程が複雑のため、非常に緻密な入力データ要求される	マルチスケール
WRF-Chem	気象場と化学輸送の計算が同時に可能	研究者レベルの利用に限定されている	マルチスケール

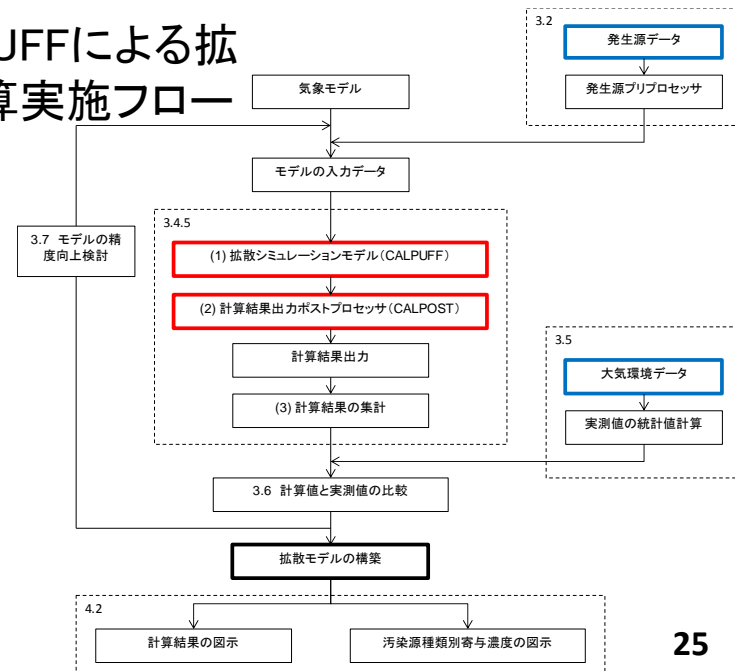
23

CALPUFFによる拡散計算実施フロー



24

CALPUFFによる拡散計算実施フロー



25

2-4-2 拡散シミュレーションの設定

- 拡散シミュレーションの関係設定
 - 計算条件の確定。計算案、計算対象範囲及び分析対象範囲を含む。
 - 気象データ。地上気象データ及び高層気象データを含む。
 - 発生源データ

26

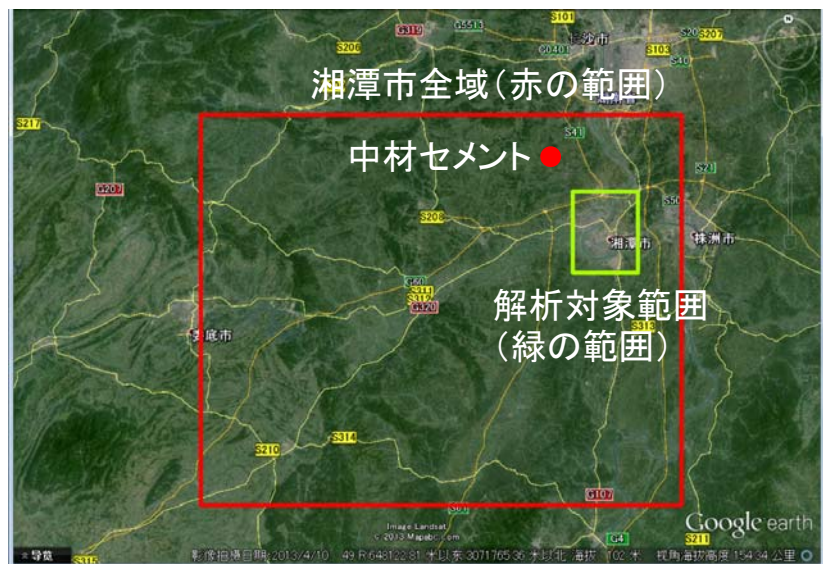
• 計算条件の確定

1) 計算案

項目	内容
使用予定モデル	CALPUFF Ver5.8.4 (USEPA推奨モデル)
対象地域	計算領域: 湘潭市全体を含む約115km x 90km 解析対象領域: 中心部を約16km x 26km
地形	SRTM30/GTOPO30 Global Data (~900 m, 30 arc-sec)
土地利用データ	USGS Land Use/Land Cover Scheme Eurasia (optimized for Asia)
解像度	計算領域: 5km x 5km、解析対象領域: 1km x 1km
対象汚染物質	SOx(SO ₂)、NOx(NO、NO ₂)
発生源	重点・非重点調査工業企業、城鎮生活源、自動車源
対象期間	2013年1月～2013年12月
濃度計算地点	1km x 1kmグリッドの中心点、大気質モニタリング測定局

342

• 2) 計算対象範囲



• 3) 解析対象範囲



気象データ

気象データの入手方法

類型	時間	入手方法	測定項目
地上気象データ	2013.1.1- 2013.12.31	湘潭市 気象局から入手	気象局の具体的測定場所、気温、風向、風速、雲底高度、総雲量、低雲量、相対湿度(又は露点温度)、地上気圧等
高層気象データ		从 NOAA/ESRL Radiosonde Databaseより無料でダウンロード(湘潭から最も近いデータは長沙)	測定高度、気温、露点温度、風向、風速、気圧等

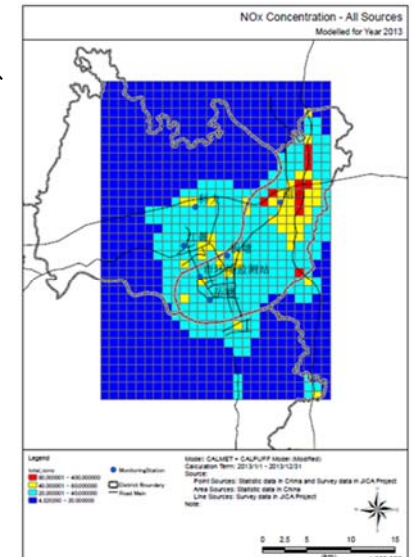
発生源データ

- NO2発生源: 重点調査工業企業発生源、非重点調査工業企業発生源、城鎮発生源、幹線道路の自動車発生源及びその他の道路の自動車発生源
- 発生源区分: 点源、面源和線源
- 計算年: 2013年、2015年の十二五計画実施後及び未実施時のNO2濃度変化推算

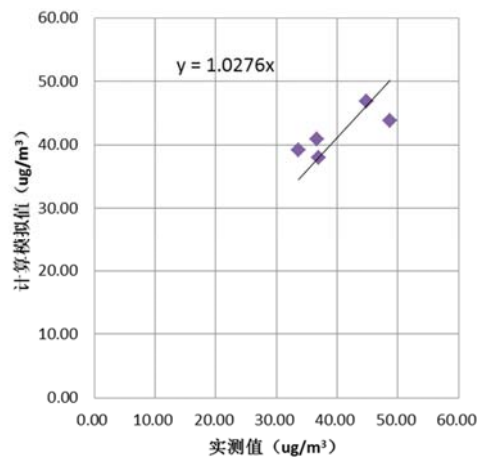


・シミュレーション計算結果

計算範囲内において、基準超過グリットとは計算範囲の6.4%を占め、最大値は $329.42\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、昭山測定局の近くにある。



・シミュレーション計算結果と実測値の相関性評価



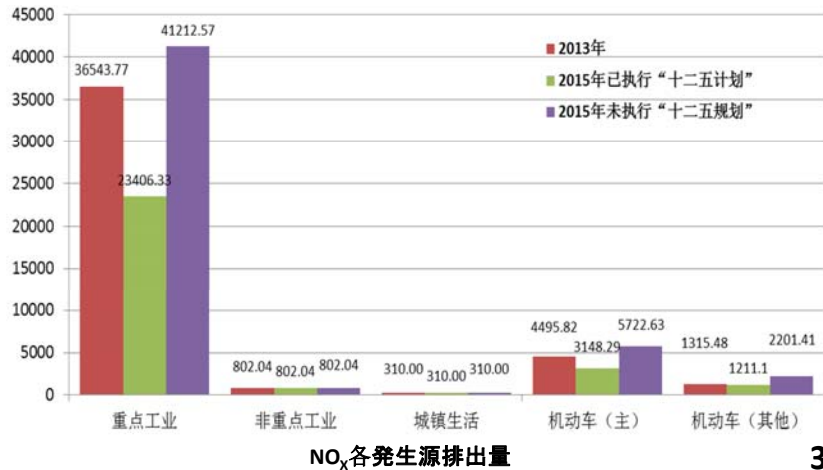
直線シミュレーションの近似式の切片が1に近く、1.028となっており、相関係数が適切で0.808となっている。

3. 対策案の有効性評価

- 分析方法概要
 - 十二・五対策目標がすべて達成されたケース
 - 十二・五対策が全く実施されなかったケース
- 上記2ケースを比較し、大気環境濃度低減効果を把握する。

3. 対策案の有効性評価

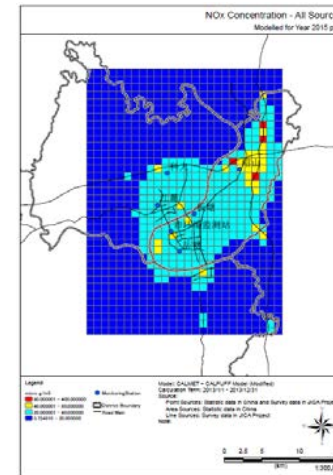
– 各発生源排出量の比較



36

3. 対策案の有効性評価

- 十二・五対策目標がすべて達成されたケース

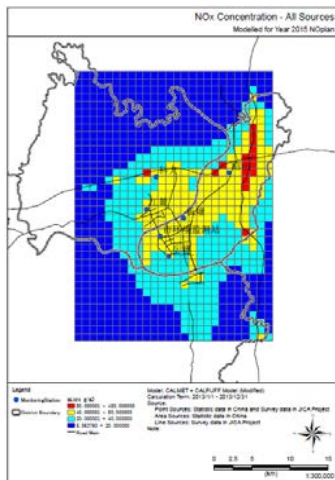


十二・五計画が実施された場合には、湘潭市のNO₂による汚染が改善され、汚染深刻化傾向がよくなった。基準超過範囲比率は2013年の6.41%から3.42%に下がり、濃度最大値は329.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から221.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に下がった。

37

3. 対策案の有効性評価

- 十二・五対策が全く実施されなかったケース



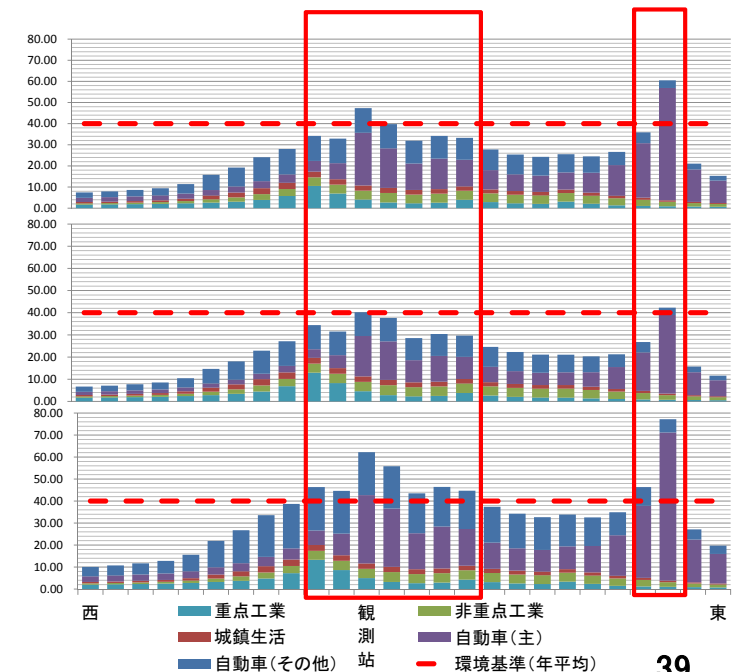
十二・五対策が全く実施されなかった場合には、湘潭市のNO₂基準超過範囲が顕著に増え、たいてい湘潭市全体に広がり、環境が更に悪化した。基準超過範囲は2013年の6.41%から19.76%に上がり、濃度最大値は329.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から418.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に上がった。

38

2013年

2015年対策完全実施後

2015年対策未実施時



39

4. 大気拡散シミュレーションモデルの活用

1. 対策の有効性評価
2. 将来の対策のための根拠
3. 測定局の最適化

40

5. 今回の活動における不足点

1. 実測値とシミュレーション計算値との相関関係を調べるときに、人為的に岳塘測定局の実測値を除外した。これが合理的であるかどうか、2014年及び2015年の実測データで検証する必要がある。
2. 今回、実測値とシミュレーション計算値との相関性を調べるときに、シミュレーション計算地点の観測点測定局の高さは1.5mにしたが、実情と合っていない。さらに検証する必要がある。
3. 今回採用したモデルは広い範囲の予測に適用するが、グリッドの中心点がちょうど線源の排出中心点にある場合の予測については精度が落ちる(計算値が過大、かつ、グリッド中心点が線源中心に近いほど予測値が大きい)。当該グリッドの濃度の計算結果精度を上げる必要がある場合には、より多くのデータを入手し、又はその他の適切なモデルを採用する必要がある。

41

ご清聴ありがとうございました。

42

346

NOx抑制効果把握手法に係るハンドブックの紹介

2015年11月27日
JICA専門家チーム
仲田 伸也

1

目次

1. ハンドブックの目的
2. 概要
3. 気象・大気環境データの解析
4. 発生源排出インベントリの作成
5. 環境統計データ変換システムの利用
6. 大気拡散シミュレーションによる大気環境濃度計算
7. 排出削減計画の評価
8. ハンドブックの利用効果

2

1. ハンドブックの目的

- 地方政府が大気拡散シミュレーションを用いた大気環境評価ができるようになること。
 - 環境統計データを用いた方法
 - 補完調査によるデータを追加で用いた方法
- 地方政府が排出量削減計画による濃度低減効果を把握できるようになること。
 - 濃度低減効果に基づく新たな排出量削減計画の立案を検討する材料

3

347

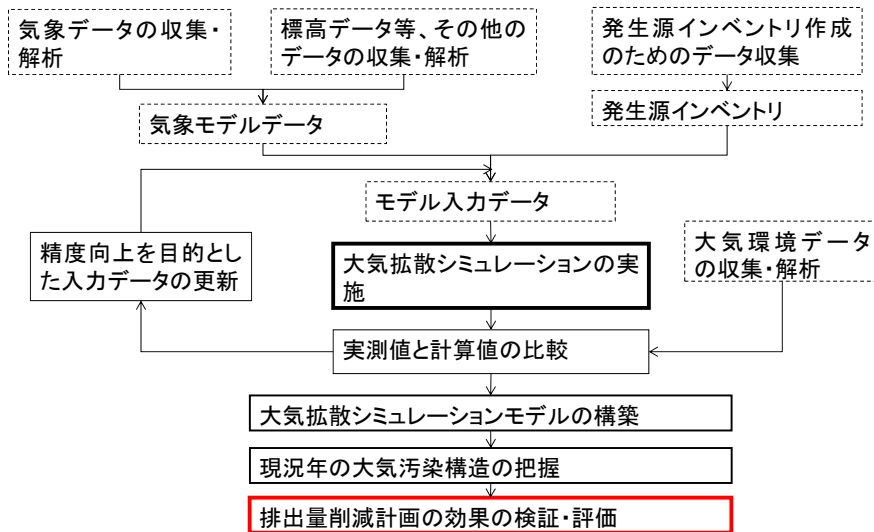
2. 概要

- ハンドブックの構成
 - 第1章 要約
 - 第2章 大気拡散シミュレーションモデルを利用する目的
 - 第3章 基準年のモデル化
 - 第4章 排出削減計画の評価
 - 第5章 参考資料
 - 第6章 参考文献

湘潭市での活動及び環境規画院との協議を基に作成

4

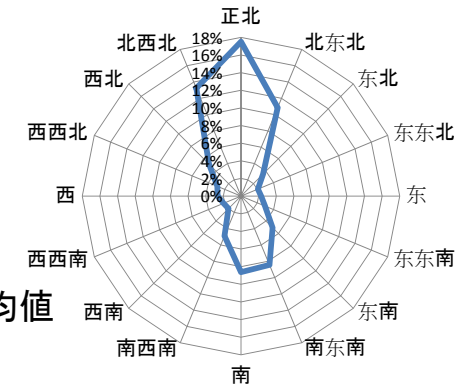
NOx抑制効果把握手法のフロー



5

3. 気象・大気環境データの解析

- 気象データの入手
 - 地上気象データ
 - 高層気象データ
 - 気象モデル
- 気象データの解析
 - 最高値、最低値、平均値
 - 風配図



6

3. 気象・大気環境データの解析

- 大気環境データの入手
 - 対象都市の大気常時監視測定局のデータを利用
 - 対象物質: NO₂、NO、NO_x、O₃等
- 大気環境データの解析
 - 異常値の検出
 - 大気環境基準超過状況
 - 時間変化統計分析(日平均、月平均、時刻別平均、経年変化)

7

348

4. 発生源排出インベントリの作成

- 簡易手法
 - 環境統計データを利用した発生源排出インベントリの作成
- 詳細手法
 - 不足情報がある場合は、補完調査を実施或いは仮定
 - 湘潭市の事例で紹介済

8

5. 環境統計データ変換システムの利用

- 各環境保護局が持っている環境統計データを拡散シミュレーションの入力データに変換
- 対象発生源
 - 重点工業企業汚染源
 - 非重点工業企業汚染源
 - 城鎮汚染源
 - 自動車汚染源

9

5. 環境統計データ変換システムの利用

- ソフトウェア及びシステムの詳細な使い方に関しては、環境規画院にお問い合わせください。



6. 大気拡散シミュレーションによる大気環境濃度計算

- 拡散モデルの選定条件
 1. 中国で推奨されている拡散モデルであること
 2. 安価で入手できる拡散モデルであること
 3. 排出量と寄与濃度が線形関係の大気拡散シミュレーションモデルであること



本ハンドブックではCALPUFFを採用

11

349

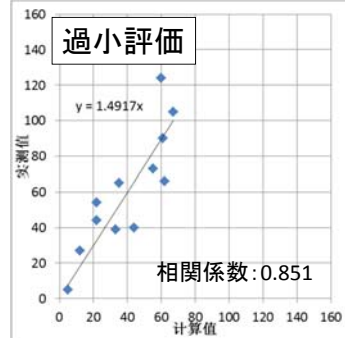
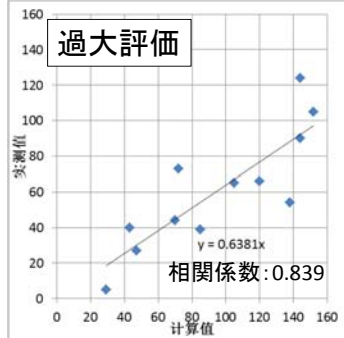
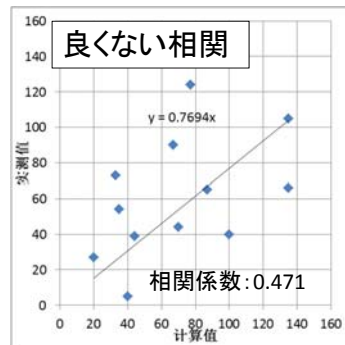
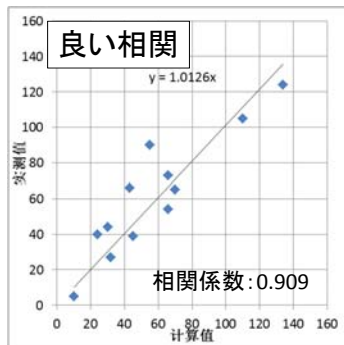
6. 大気拡散シミュレーションによる大気環境濃度計算

- 計算結果の評価
 - 近似直線の傾きと相関係数による評価
 - 有意水準を使った有意差の評価
 - 同一地点における時間別濃度の相関性評価



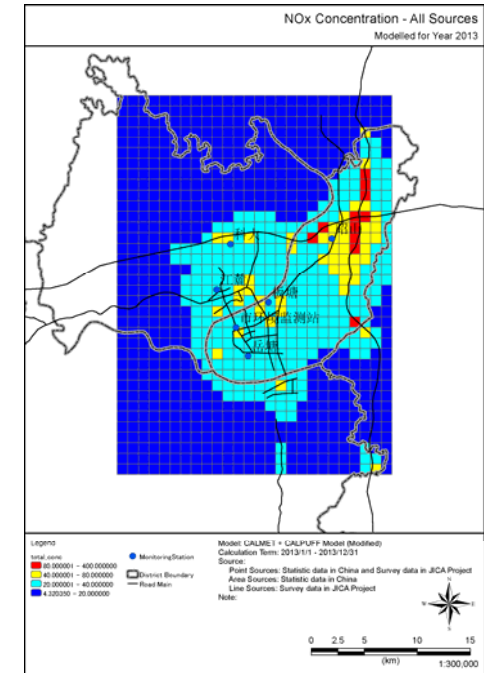
良い相関或いは有意差有り: モデルの精度高い
悪い相関或いは有意差無し: モデルの精度低い
→ 入力データ或いはモデルのパラメータを見直し

12



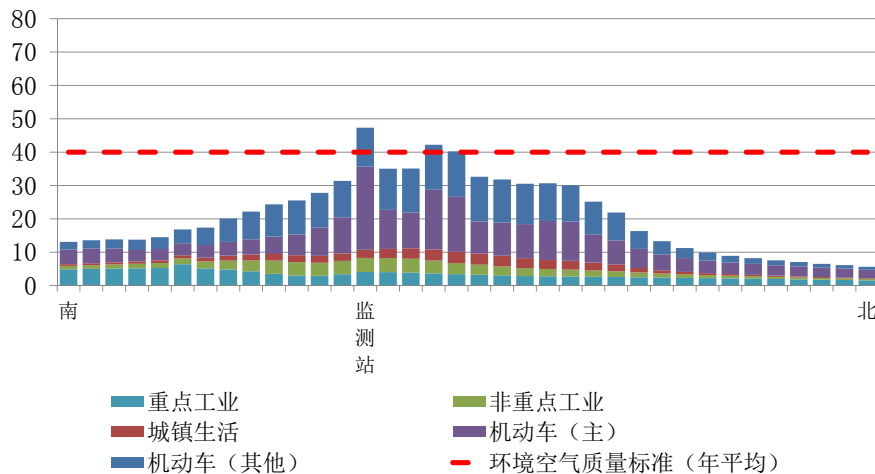
13

濃度分布図



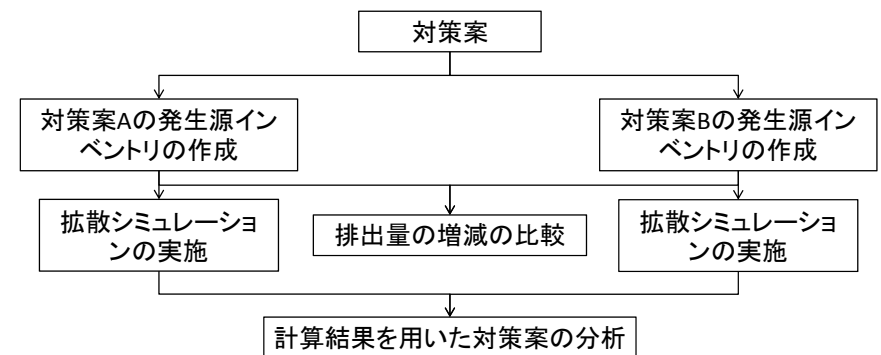
14

発生源別寄与濃度断面図



15

7. 排出削減計画の評価



本プロジェクトでは、湘潭市の排出量削減計画について、以下のケースで計算した
 対策案A: 全く実施されなかった場合、対策案B: 完全実施された場合

今後の対策案でも、上記の方法で分析が可能。

16

8. ハンドブックの利用効果

- 手持ちの環境統計データ等を用いた大気拡散シミュレーションにより、地方政府が大気汚染構造をより詳細に把握することができる。
- 補完調査のデータを用いることによって、大気拡散シミュレーションの精度を向上することができる。
- 地方政府が、排出量削減計画による濃度低減効果及び策定した対策案の効果を評価することができる。

17

ご清聴ありがとうございました

18

窒素酸化物抑制に係わる技術ガイドラインの作成について

—日中技術協力「大気中窒素酸化物総量抑制プロジェクト」

蒋春来

環境保護部環境规划院 CAEP

2015年11月27日



主要内容

- 1 中国におけるNO_x汚染の特長分析
- 2 中国におけるNO_x抑制の現状及び管理ニーズ
- 3 NO_x抑制に係わる技術ガイドラインの主要内容

环境保护部环境规划院



中国は今発展国が経験した高排出段階にある

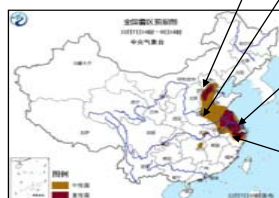
ロサンゼルス1948



ロンドン1945



地域的スモッグ汚染が頻発

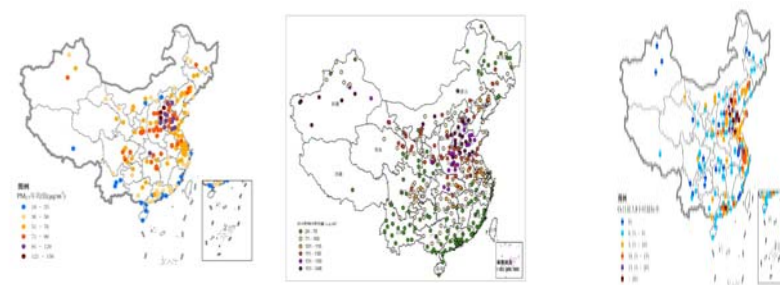


环境保护部环境规划院



中国は今発展国が経験した高排出段階にある

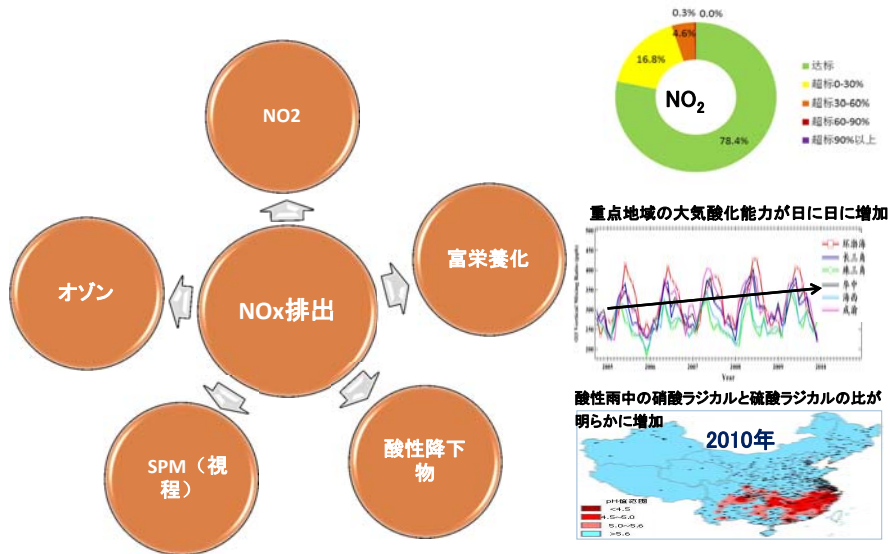
全国都市のPM_{2.5}、PM₁₀年平均濃度及びO₃濃度の日最大8時間移動平均値分布図



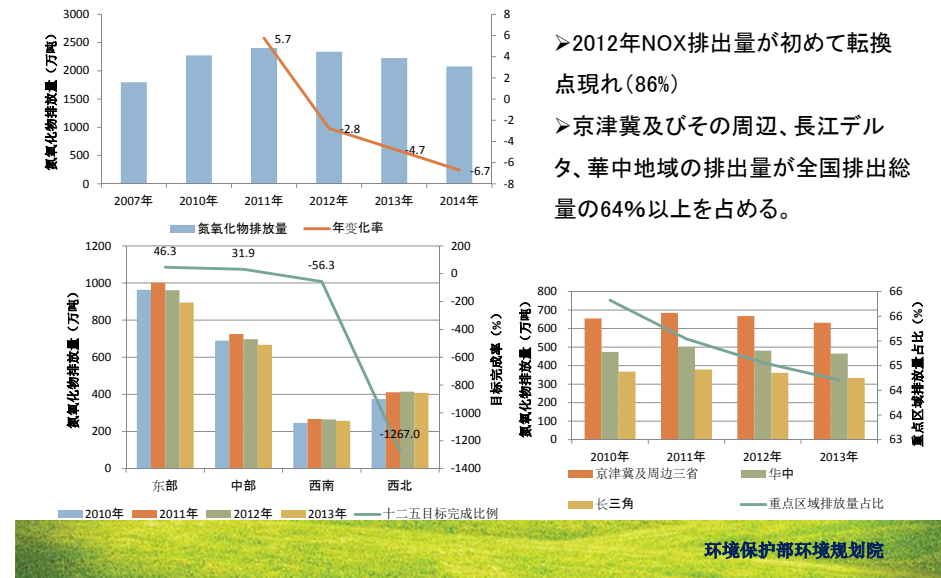
2014年161都市のPM_{2.5}年平均濃度基準超過率が高く、89%に達していた。
 2014年328地レベル及びそれ以上の都市のNO₂年平均濃度の基準超過率は21.6%、PM₁₀年平均濃度基準超過率は68%であった。
 2014年全国161都市のO₃最大8時間移動年平均値の基準超過率は22%である。

环境保护部环境规划院

NO_xが中国の複合型大気汚染をきたす重要汚染物質

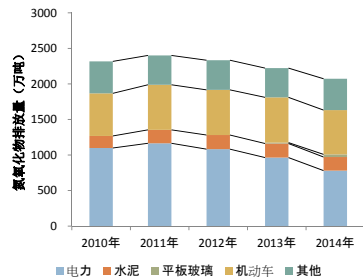


CAEP NO_x排出総量が低減傾向 但し地域的集中の特徴が顕著

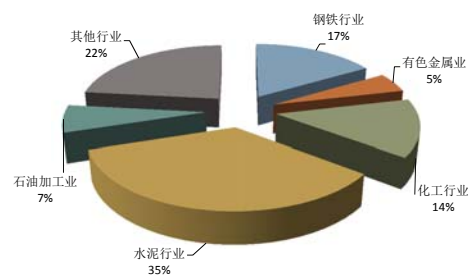


CAEP 電力、セメント、鉄鋼業及び自動車はNO_xの重点発生源

「十二五」の間に、電力を除くその他の重点業種のNO_x排出量が全体上昇の傾向を示している。



セメント業及び鉄鋼業は電力以外の最も大きな工業NO_x排出源である。



CAEP 「十二・五」の間に厳しい管理措置を実行

大気質基準はWHO、欧米、日本等の先進国と同レベルに

GB 3095-2012
4.2 环境空气质量标准表
一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。一、二类环境空气质量功能区质量要求见表1和表2。

表1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	二氧化硫 (SO ₂)	年平均	60	80	μg/m ³
		24小时平均	50	70	
		1小时平均	150	500	
2	二氧化氮 (NO ₂)	年平均	40	40	μg/m ³
		24小时平均	200	200	
		1小时平均	200	200	
3	一氧化碳 (CO)	24小时平均	4	4	mg/m ³
		1小时平均	10	10	
4	臭氧 (O ₃)	日最大8小时平均	160	160	μg/m ³
		1小时平均	180	200	
5	颗粒物 (粒径小于等于10μm)	年平均	40	70	μg/m ³
		24小时平均	50	150	
6	颗粒物 (粒径小于等于2.5μm)	年平均	15	35	μg/m ³
		24小时平均	35	75	

	時間平均値	日平均値	年平均値
米国 (ppb)	100		53
日本 (ppb)		40-60	
EU (μg/m ³)	200		40
WHO (μg/m ³)	200		40
中国 (二級)	200	80	40

「十二・五」の間の厳しい管理措置

電力業—

・排出基準450～1300から100/200mg/m³に変更
 ・2015年末までに既存石炭焚きユニットは4億Kwの脱硝改造。新設・改築・増築の石炭焚きユニットの総合脱硝率は70%以上とする。

セメント業—

・排出基準は800から400mg/m³に変更
 ・2015年末までに2000t-クンカ以上規模のNSP式に脱硝装置を設置。新設・改築・増築のセメントラインの総合脱走率は60%以上とする。

自動車—

・排出基準を厳しくする。
 ・「黄標車」を1000万台淘汰

鉄鋼・工業用ボイラ—

・300mg/m³, 400(既存)/300(新設)
 ・ボイラ;ボイラ「上大圧小」*
 ・鉄鋼;脱硝技術の開発を速め、モデルプロジェクトを推進する。

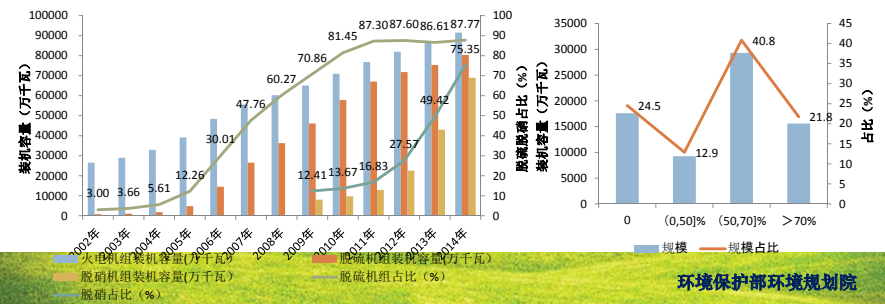
*「上大圧小」:大規模な工業用ボイラを新設し、小規模なものを廃止すること。

环境保护部环境规划院

電力業における脱硝プロジェクトが着実に推進されており、排出削減効果が顕著

2014年現在

- ▶ 全国累計脱硝ユニットは7.5億Kw、石炭火力の脱硝が87%を占める。
- ▶ 平均脱硝率は64%
- ▶ 発電業のNO_x排出量は前年同期より5%低減
- ▶ 石炭火力発電業の超低排出改造を8400万Kw完成、全国石炭火力発電ユニットの約1/10を占める。8100万Kw以上のユニットは改造中。

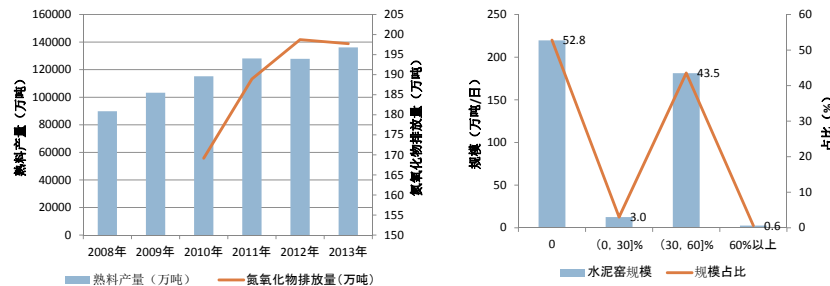


环境保护部环境规划院

セメント業の脱硝が始まったばかりで削減効果が顕著ではない

2014年現在

- ▶ 脱硝を実施したクンカ生産能力は6.5億トンに達し、全国総生産能力の83%を占める。
- ▶ 多段燃焼、SNCR等の技術が長期にわたる安定した運転経験が欠けているため、多部分は未運転又は試運転段階にあり、実質的な排出削減の役割を果たしていない。



环境保护部环境规划院

鉄鋼業におけるNO_x対策はほとんどなし

鉄鋼業

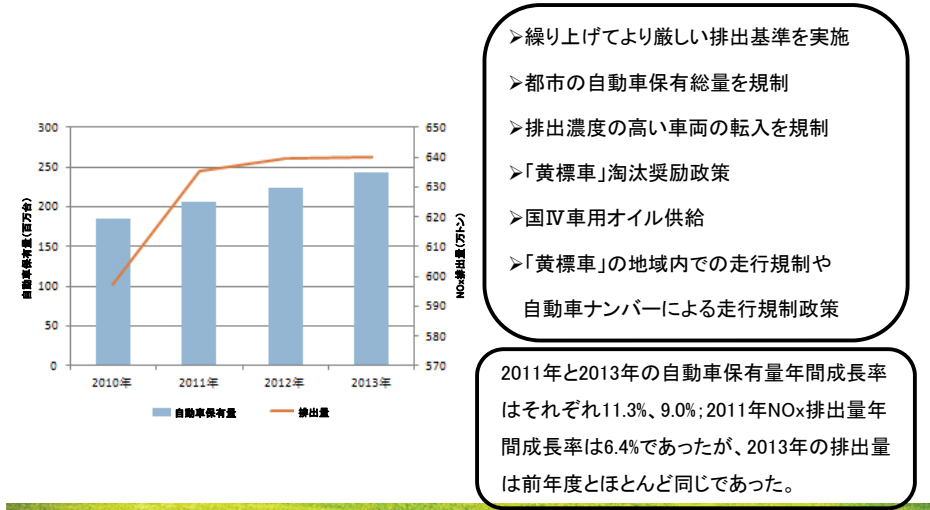
- ▶ NO_x排出が十分重視されていなかった
- ▶ 焼結排ガス脱硝技術の基礎研究が足りない
- ▶ 一部のボイラは低NO_x燃焼技術を導入した
- ▶ 測定及び統計作業が実施されていない

	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
鉄鋼NO _x 排出量 (万吨)	86	95.1	95	97	100	101

出典: 環境統計データ

环境保护部环境规划院

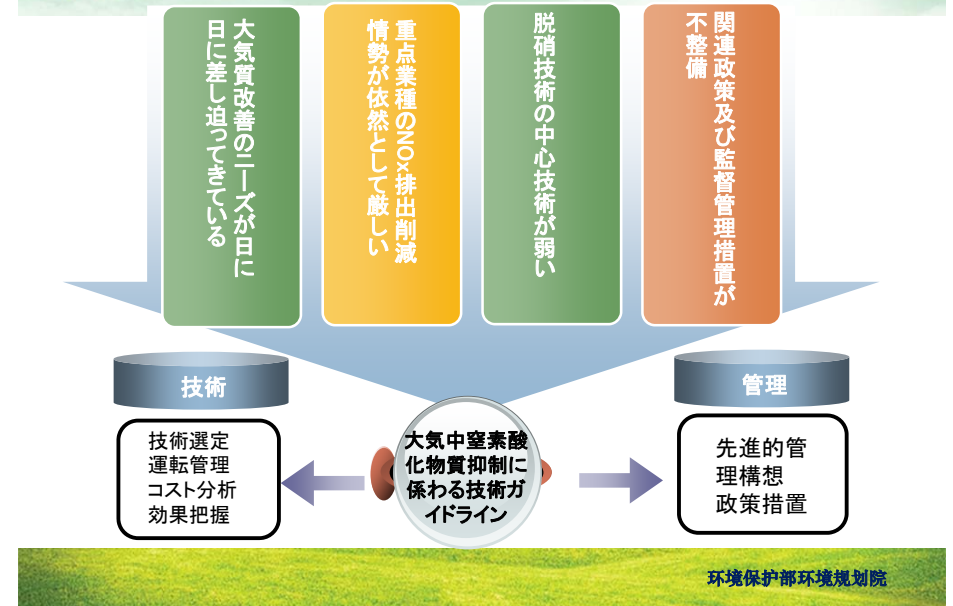
自動車NO_x排出量増加の勢いがある程度抑えられている



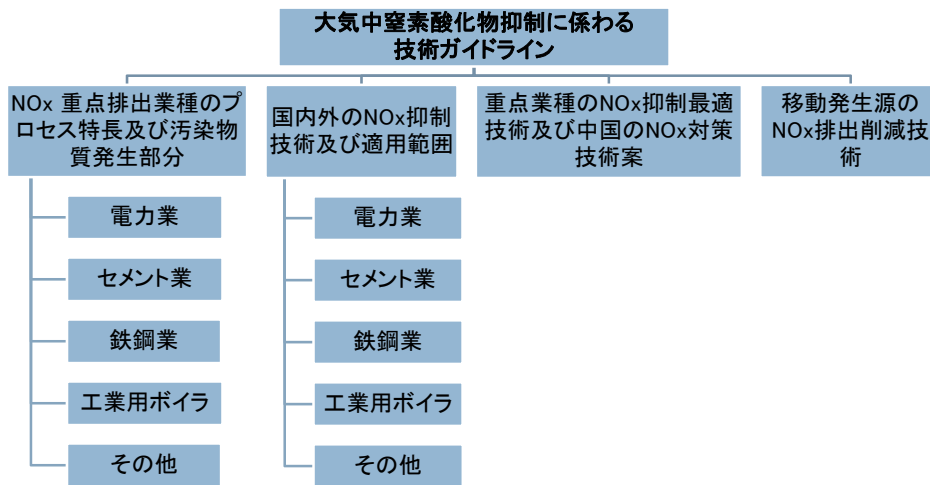
- > 繰り上げてより厳しい排出基準を実施
 - > 都市の自動車保有総量を規制
 - > 排出濃度の高い車両の転入を規制
 - > 「黄標車」淘汰奨励政策
 - > 国IV車用オイル供給
 - > 「黄標車」の地域内での走行規制や自動車ナンバーによる走行規制政策
- 2011年と2013年の自動車保有量年間成長率はそれぞれ11.3%、9.0%; 2011年NO_x排出量年間成長率は6.4%であったが、2013年の排出量は前年度とほとんど同じであった。

环境保护部环境规划院

カギとなる問題及び管理ニーズ

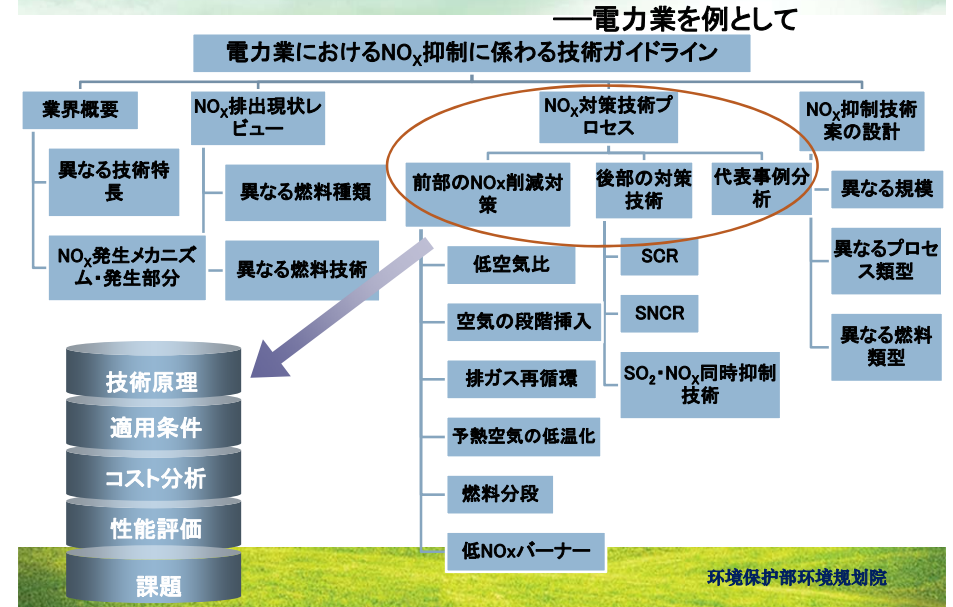


大気中窒素酸化物抑制に係わる技術ガイドラインの枠組み



环境保护部环境规划院

大気中窒素酸化物抑制に係わる技術ガイドラインの内容





中国における大気中窒素酸化物 質総量抑制プロジェクト 成果報告

2015年11月27日
湘潭市環保局
馬躍龍

1

Contents 目次

- 一 プロジェクト背景
- 二 プロジェクト過程
- 三 プロジェクト成果
- 四 プロジェクト感想

2

一、プロジェクト背景

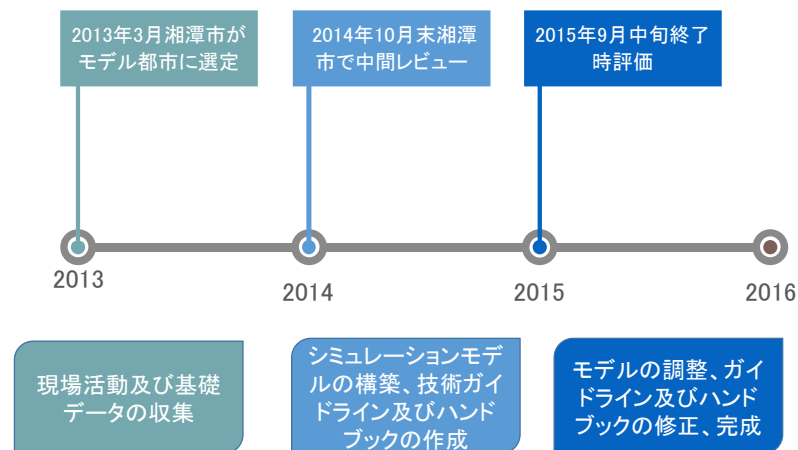
「十二・五」の間に、NO_xが中国排出削減拘束の指標体系に入れられ、NO_xが中国現在排出削減の重点となった。これに関する日本の経験を勉強し、参照にするために、2012年に中国環境保護部は日本JICAと「大気中NO_x総量抑制プロジェクト」に関する協力議事録を締結した。湘潭市に鉄鋼・石炭火力発電・セメント・大型工業用ボイラ等の多種発生源企業があり、対策成果をほかの都市に普及させやすいため、当該プロジェクトのモデル都市と選ばれ、2013年3月から3年にわたって湘潭市で現場活動が実施されてきた。

プロジェクト名称	プロジェクト期間	主要C/P	プロジェクト目標
大気中窒素酸化物質総量抑制プロジェクト	2013年3月～ 2016年3月	中国側：環境保護部汚染物質排出総量規制司大気処 環境規畫院、中国環境科学研究院、環境保護部環境&經濟政策研究センター及び湘潭市環保局 日本側：JICA、日本數理計画及び日本國際技術移轉センター	1、NO _x 抑制手法が改善される。 2、先進的なNO _x 抑制技術及び抑制手法が幅広く活用される。

3

357

二、プロジェクト過程



4



セミナー

5



ワークショップ

6

日本研修



7

現場活動



8

三、プロジェクト成果

成果一

成果二

「NOx抑制技術に係る技術ガイドライン」及び「NOx抑制効果把握手法に係るハンドブック」を作成するとともに、華菱湘鋼鉄鋼グループ、湘潭中材セメント及び湘潭電化グループ等を鉄鋼・セメント・工業用ボイラ分野のモデル企業として現場活動を通じて企業に排出削減に関する技術的アドバイスを提出した。

9

三、プロジェクト成果

成果一

成果二

湘潭市のNOx拡散シミュレーションモデルを構築し、技術者に対してワークショップを行って技術移転をした。また、湘潭市NOx排出削減対策案に対してアドバイスをし、予想した成果を上げた。

10

四、プロジェクト感想

上級部門の
高度重視

プロジェクト初期の指導、中期難航時の調整など、プロジェクト実施中に、環境保護部・環境規画院及び政策研究センター等の上級部門は、本プロジェクトを非常に重視し、モデル都市に対して多大なサポートをしてくれた。そして、北京でセミナー、ワークショップ及び技術交流を開催し、湘潭で企業現場に行き現場調査を行った。また、進んだNOx総量抑制技術をよりよく理解及び把握できるようにモデル都市の技術者に日本研修に参加させ、プロジェクトの順調実施に堅固な基礎を築いてくれた。

11

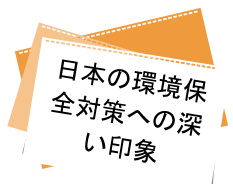
四、プロジェクト感想

地方政府及び
企業の積極的
協力

本プロジェクトが中国のNOx総量抑制を促進し、大気中汚染物質の排出削減を目的としているため、モデル都市として湘潭市地方政府、環境保護部門及び企業は、積極的に協力し、以って現在ますます深刻になってきている環境汚染問題に自分の力を捧げるようにしている。

12

四、プロジェクト感想



湘潭での技術者向けワークショップの時も日本研修の時も日本の環境保全に対する態度が非常に真剣で、モデル企業での現場活動時も、プロジェクトがかかわるNOxだけでなく、企業全体の発生源に対して建設的なアドバイスをしてくれた。日本側のしっかりした基本作業及び謹厳な仕事ぶりに非常に印象的であり、学ぶべきだと思う。

13

THANKS

謝謝！

湘潭市環保局

14



大気中窒素酸化物総量抑制プロジェクト 湘潭電化グループにおける活動報告

湘潭電化科技股份有限公司
2015年11月27日

Xiangtan electrochemical scientific ltd

1



会社概要

環境保安全管理組織図

生産現場紹介

JICA専門家の活動



2

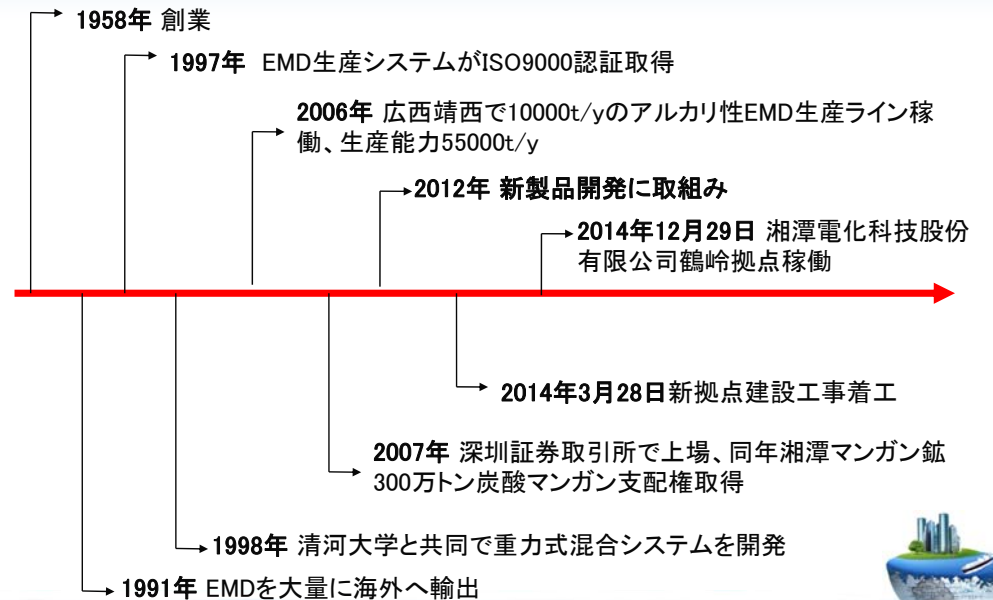
会社概要



361

3

一、会社概要



4



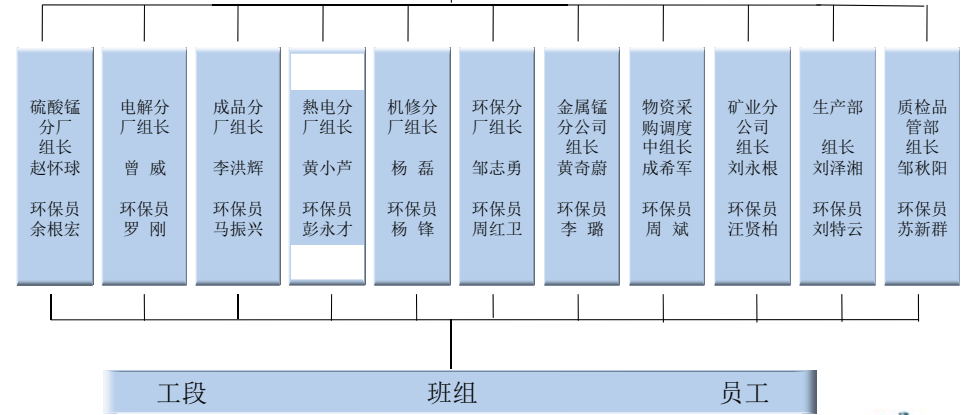
環境保全管理組織図



三、湘潭電化環境保全管理組織図

環境保全委員会 主任：譚新乔 副主任：成曙光

弁公室主任：彭春林 副主任：侯瑶 专职环保员：吴茜



生産現場紹介



移転後の新拠点(1)



移転後の新拠点(2)



9

移転後の新拠点(3)



硫酸マンガン生産ライン



10

移転後の新拠点(4)



完成品生産ライン



363

JICA 専門家の活動報告



12



熱供給発電所の紹介

湘潭電化鶴嶺生産拠点の熱供給発電所には110KV変電所、循環流動層ボイラを2基及び7500KW背圧式発電ユニットを1基を設置しており、発電と熱供給を共にしている。ボイラは高効率・省エネ・環境にやさしい循環流動層を使用し、集塵効率のよいバグフィルタ、炉内路外脱硫脱硝システムも設置した。また、排ガス常時測定システムを設置し、ボイラの排ガスは国家排出基準以下となっている。発電ユニットは国推薦の蒸気の差圧を利用して発電を行っており、発電コストが火力発電よりはるかに低く、当社に相当な経済利益をもたらした。



13

脱硝及びNOx抑制について

1、脱硝技術分類

- ・ 燃焼前のN分除去
生物脱窒技術等
- ・ 燃焼過程のNOx除去

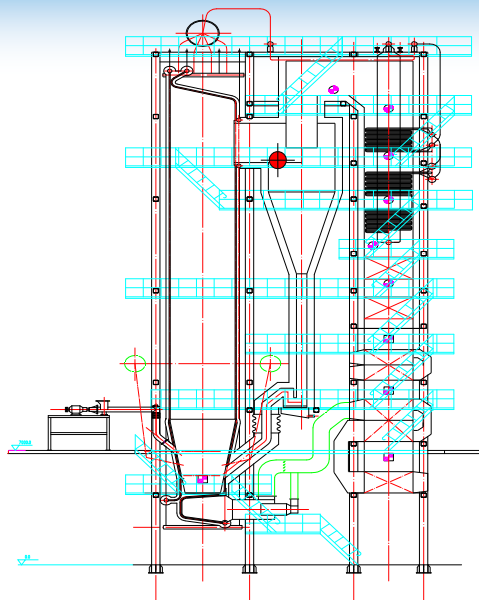
低NOx燃焼技術、循環流動層クリーン燃焼技術(CFBC)、石炭ガス化複合発電(IGCC)、クリーン石炭発電技術

- ・ 排ガス脱硝技術

気相反応法、液体吸収法、吸附法、液膜法、微生物法
火力発電所：選択触媒還元法(SCR)、
選択無触媒還元法(SNCR)
SCR-SNCR混合脱硝法



14



NOx除去原理

- ・ 燃焼過程における除去
燃焼条件の制御によりNOxの生成を制御する方法——**燃焼温度の制御、燃料と空気の混合速度の制御及びタイミング**

当該原理に基づく技術は主に低NOx燃焼技術、多段空気吹込み等である。

- ・ 燃焼後の除去
 $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

条件1:温度850-1100℃;
条件2:触媒を使用、温度320-400℃.

$6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$
上記原理に基づく技術で多く応用されているのは、SCR、SNCR)、SCR/SNCR混合技術である。



15

JICA 専門家との技術交流

JICA専門家が現場調査及び情報聴取をした後、SNCRの導入を薦め、当該脱硝技術を導入すれば、排ガス中のNOxを十分基準範囲内に抑えることができるアドバイスをしてくれた。技術が簡単で実用的、投資が少なく、運転コストが低いことはSNCR法のメリットである。



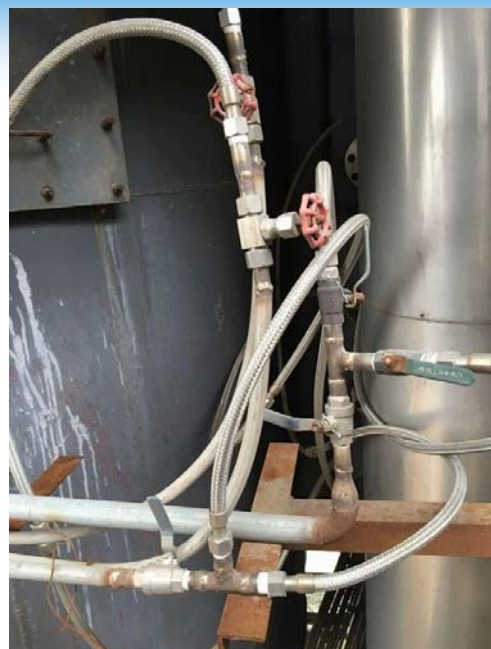
16



SNCRアンモニア脱
硝施設



脱硝装置:
流量調整器



脱硝装置:
スプレーガン



JICA専門家の燃料管理について次のアドバイスをしてくれた。
石炭の仕入先を選別し、N分の低い石炭を使用する。石炭のN分を2%以下とする。
石炭のN分を2%以下に制御できるのなら、脱硝装置が稼働しなくても、当社の循環流動層ボイラのNOx排出は、排出基準内に抑えることができる。(石炭品質指標及び生産基準は参照とする)。



石炭品質仕様及び清算基準

石炭種類	指標	清算基準
貧炭	揮発份≥9%	発熱量4800cal以上 基本価格595元/t (運賃込)
		発熱量4800～4500cal 100cal (四捨五入) 少ない毎に基本価格より10元/t下がる
		発熱量4500～4000cal 100cal (四捨五入) 少ない毎に基本価格より25元/t下がる
		発熱量4000cal以下 3950cal以上の場合4000calで計算; 3500-3950calは280元/tで清算; 3500cal以下の場合150元/tで清算。
無煙炭	揮発份<9%	発熱量4800cal以上 基本価格595元/t (運賃込)
		発熱量4800～4500cal 100cal (四捨五入) 少ない毎に基本価格より10元/t下がる
		発熱量4500～4000cal 100cal (四捨五入) 少ない毎に基本価格より25元/t下がる
		発熱量4000cal以下 3950cal以上の場合4000calで計算; 3500-3950calは280元/tで清算; 3500cal以下の場合150元/tで清算。 揮発份は、1%下がるごとに10元/t安い。 超出部分 (x%) 扣相等重量扣重=x%×总重量
水分 (H ₂ O)	≤6%	
全硫 (St)	≤1%	1%≤St<1.5% 15元/t安い、1.5%≤St<2% 20元/t安い、2%≤St<2.5% 40元/t安い、2.5%≤St<3% 50元/t安い、St≥3% 60元/t安い
N分	≤2%	2%≤Nt<2.5% 15元/t安い、2.5%≤Nt<3% 20元/t安い、3%≤Nt<3.5% 40元/t安い、3.5%≤Nt<4% 50元/t安い、Nt≥4% 60元/t安い

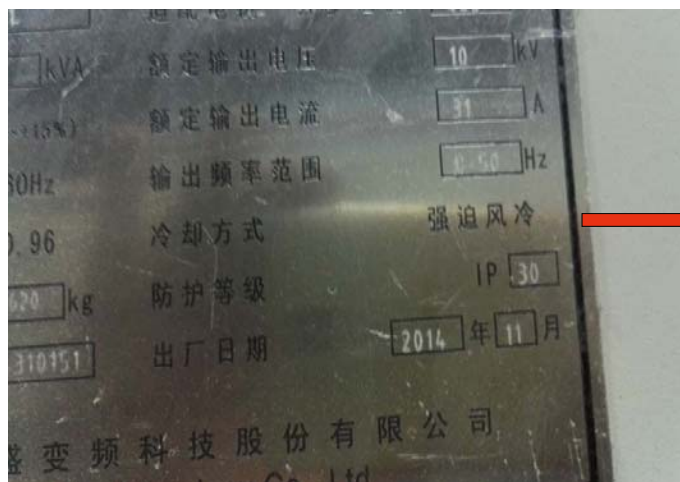
★ここ10か月間の運転状況から見れば、脱硝装置を稼働しなくても、NO_xの排出濃度は60mg/Nm³前後に抑えられ、完全に排出基準を達成することができる。

省エネについて

移転する前に当社の1万Vの高圧変換機はよく故障することを相談した。JICA専門家は原因を究明し、正圧冷却、防塵防湿、冷却ファンの多重制御をアドバイスしてくれた。今回の設備入札時にこれらのアドバイスを入札仕様書に反映させ、故障の頻発を防いだ。



入札で購入変換機



正压冷却

防塵防湿ネット



ボイラの移設について

伝熱の面の切断について、JICA専門家は、次のアドバイスをしてくれた。ボイラ各部分の出荷時のサイズ・形状を保ちながら運搬及び溶接しなおすために、元々溶接のところで切断する。移転時にJICA専門家のアドバイスに基づき、設備設置業者に設置案の作成を依頼し、移転工事が無事に終了した。



溶接継ぎ目



25



溶接継ぎ目



26



脱硫集塵について

写真の施設は石灰—石膏炉外脱硫施設である。

脱硫方法について、JICA専門家は、炭化カルシウムスラグは廃棄物の再利用で、安く入手しやすい。そして、電気消費量も少ないため、それを脱硫剤として石灰—石膏脱硫法を採用するのは非常に良い選択だと当社の考えを認めてくれた。現在、当社の脱硫システムは正常に運転しており、脱硫効果も非常に優れている。



27



これはバグフィルターである。排ガスが排出基準を達成するには、当社にとってはバグフィルターが最適だとJICA専門家が認めてくれた。現在バグフィルターが正常に運転しており、集塵率は99.8%以上である。



28



熱併給発電所の煙突



29



JICA専門家から当社の熱併給発電ボイラの移転に貴重なアドバイスをいただき、大変助かった。

ここでJICA及びJICA専門家、特に藤井専門家に心から感謝を申し上げます。



30

Xiangtan electrochemical scientific ltd



鉄鋼焼結機におけるNOx・SOx抑制対策



湖南華菱湘潭鉄鋼有限公司



目次

- 1.企業概要
- 2.対象焼結機概要
- 3.環境保全に関する課題
- 4.JICAからの技術サポート及び湘鋼との技術協力
- 5.プロジェクト成果

1.企業概要



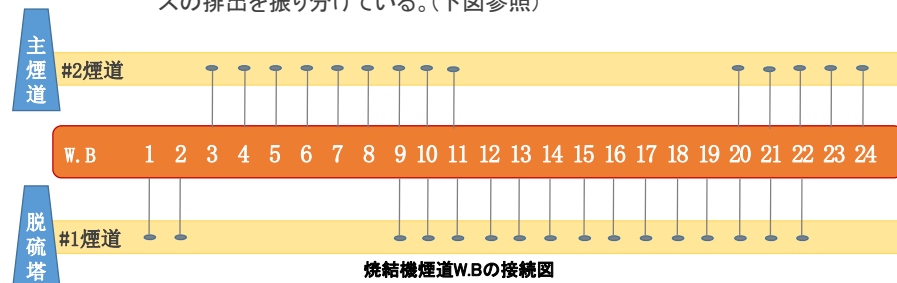
- 会社名称: 湖南華菱湘潭鉄鋼有限公司
- 創立: 1958年
- 生産能力: 1000万トン/年
- 生産設備: コークス生産、焼結、銑鉄、製鋼、圧延等のフローを網羅、焼結機4基保有
- 製品: 幅広厚鋼板、棒鋼、パーインコイル、高速線材、異形棒鋼等
- 製品市場: 華東、広東、西南、湖南、米国、日本、ヨーロッパ、東南アジア、中東地域



2. 対象焼結機概要



- 焼結機名称: 第2焼結機
- 有効焼結面積: 360㎡
- 有効機長: 91m
- ベッド層厚さ: 750mm
- 煙道: サイドに2本(#1煙道、#2煙道)を有しており、各風箱ごとに排ガスの排出を振り分けている。(下図参照)



2.対象焼結機概要



➤ 両煙道のメインブロワ及び排ガスのパラメータは同じ

項目	メインブロワ出口	
	平均値	範囲
排ガス量 (万m ³ /h)	820000	7000000-940000
排ガス温度 (°C)	135	110-160
排ガス湿度%	16	10-20
	メインブロワパラメータ	
風量 (m ³ /min)	18000	
ブロワ軸動力 (kW)	6500	
回転速度 (r/min)	1000	
入口負圧 (kPa)	17	

5



3.環境保全に関する課題

➤ 焼結排ガスに関する熟した脱硝技術がない状況下で、NO_xの排出を抑制する。

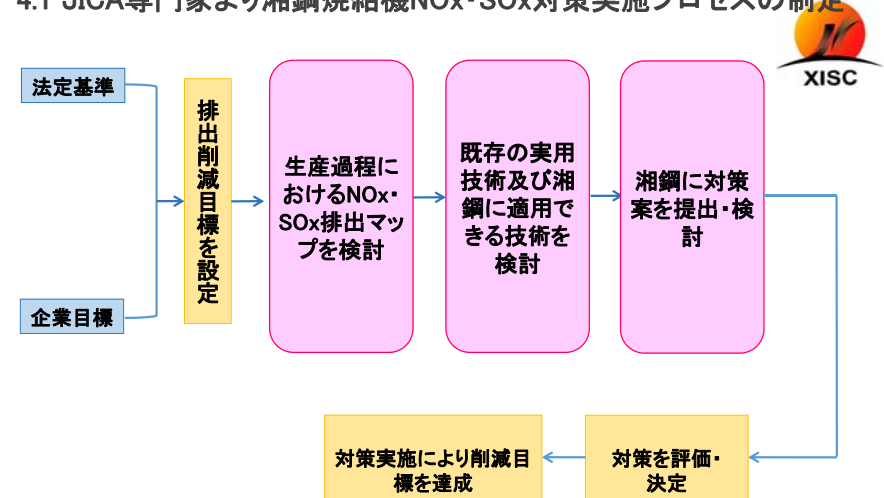
➤ #2煙道のSO_x排出を抑制する。

6



4.JICAからの技術サポート及び湘鋼との技術協力

4.1 JICA専門家より湘鋼焼結機NO_x・SO_x対策実施プロセスの制定



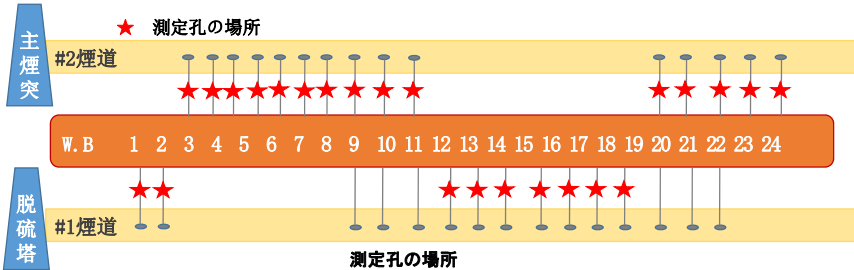
7

8

4.2 実測に基づくNO_x・SO_x排出マップの作成



- 方法:現場実測
- 測定内容:流量、流速、排ガス温度、静圧、水分含有量、NO_x濃度、SO₂濃度、CO濃度、CO₂濃度、O₂濃度
- 測定機材:ポータブル煙道排ガス分析計(HORIBA PG350)、ピトー管、差圧計、U字管、CaC12
- 測定場所:各W.Bで開けた測定孔



9

現場測定



写真:測定孔を開ける場面



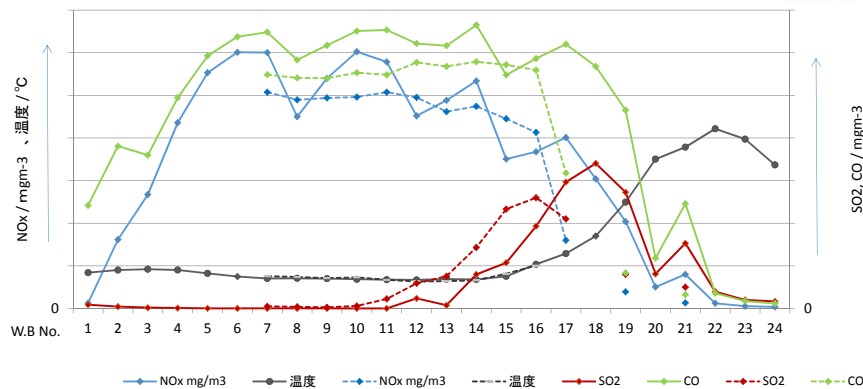
測定孔



写真:測定データのチェック

10

4.3 NO_x・SO_x排出マップの作成



湘鋼新#2焼結機のNO_x・SO_x排出マップ

11

4.4 対策検討

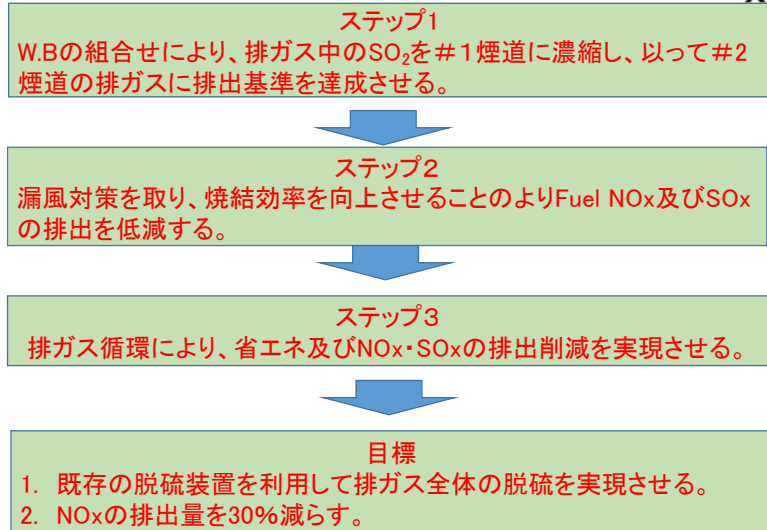


測定結果に基づき、企業の現状に合わせて、JICA専門家は、

- 1.国内外の進んだ実用技術を取りまとめ、
- 2.湘鋼焼結機のNO_x・SO_x排出対策をいくつか提案してくれた。
- 3.湘鋼と具体的に意見交換を行い、検討した。

12

4.5 JICA専門家のご提案



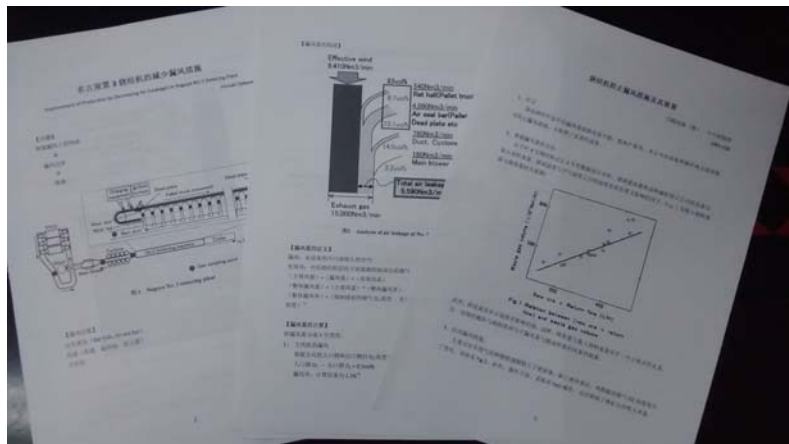
13

JICA専門家のシミュレーション計算結果によるW.B.組合せの効果



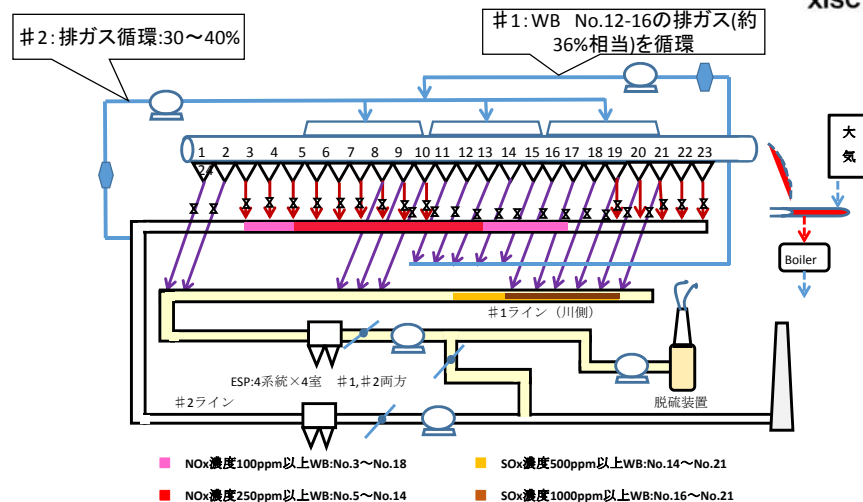
14

日本の焼結機漏風対策技術に関する JICA専門家の紹介



15

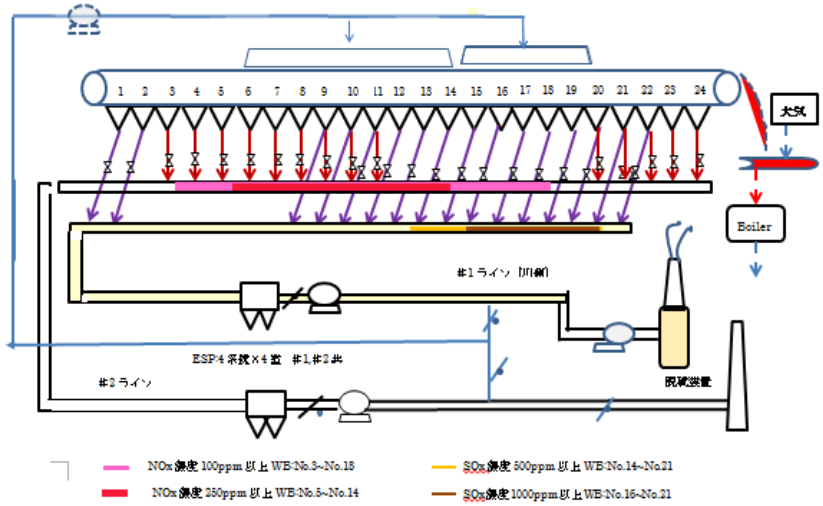
JICA専門家提案の排ガス循環Case1—内循環



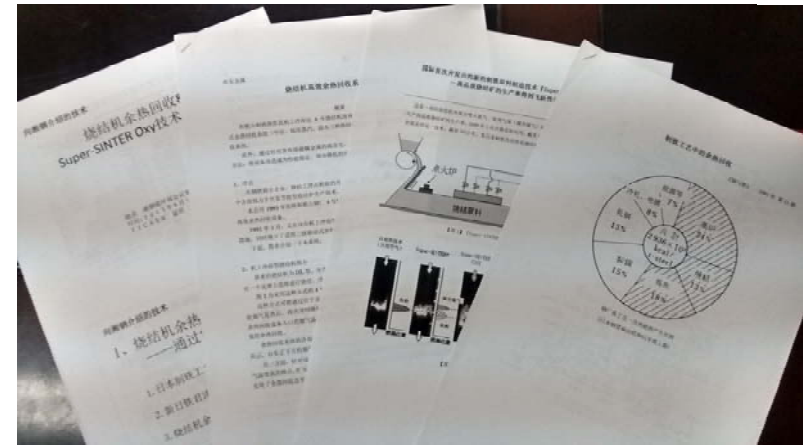
JICA 専門家提案の排ガス循環Case2—外循環



#1, #2 共、排ガス循環:30~40%以上



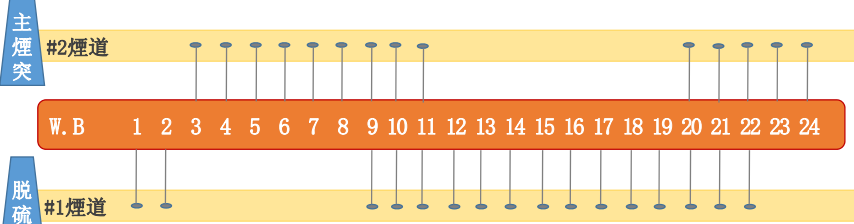
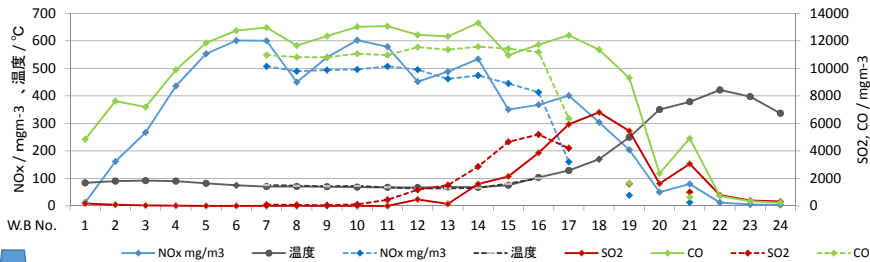
焼結機の省エネに関する湘鋼の要望に応じ、JICA 専門家は日本の進んだ経験及び技術を紹介してくれた。



4.6 JICA 専門家と湘鋼との技術協力



2014年10月~2015年10月、湘鋼はJICA 専門家のアドバイスに基づき、W.B組合せ実験を実施した。

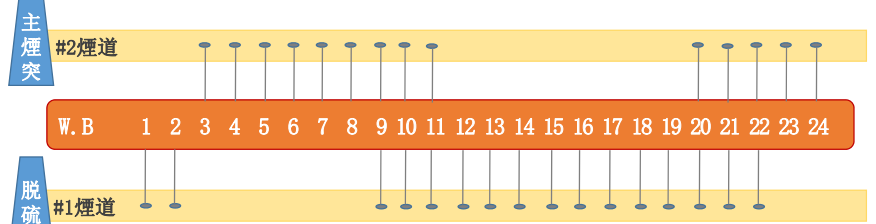
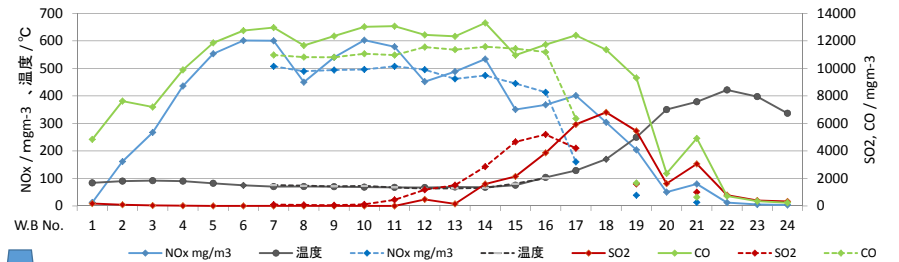


焼結機煙道とW.Bの接続図

4.6 JICA 専門家と湘鋼との技術協力



実験中の難点: 風量バランス、温度バランス、NOx偏析、生産量と品質の変化等の多要素間の関連影響



焼結機煙道とW.Bの接続図

4.6 JICA専門家と湘鋼との技術協力

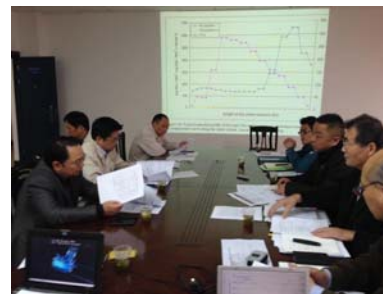


- 実験中の改題を解決するために、湘鋼はJICA専門家と密に意見交換・検討し、各自の分析及び意見を共有して、実験を進めた。



21

➢ 双方の技術交流

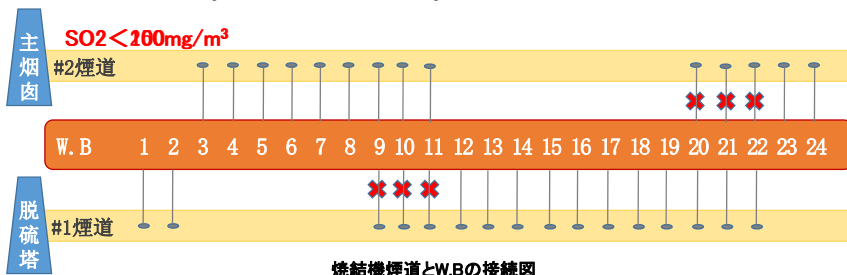
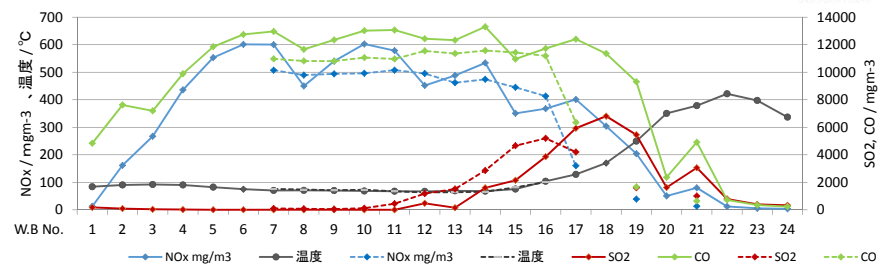


22

5. プロジェクト成果



5.1 W.Bの組合せにより排ガス中のSO₂の濃縮処理ができた。



焼結機煙道とW.Bの接続図

23

24

新2号焼結機現在の実際排出濃度



排ガス温度 (Avg)	O2含有量 (Avg)	NOx (Avg)	SO2 (Avg)	排ガス圧力 (Avg)	流量 (Avg)	流量 (Cou)
125.77	16.13	194.48	161.99	974.25	115.36	9967101
130.49	16.18	158.68	190.85	714.15	116.33	10050740
133.74	16.59	163.2	154.41	995.03	114.1	9858455
135.98	16.8	169.11	167.06	1153.45	108.49	9373298
136.94	17.03	162.52	149.67	1878.2	103.82	8969964
132.23	16.64	189.56	51.16	2173.95	113.4	9797572
129.37	16.52	176.01	125.66	1588.19	121.03	10457299
133.59	16.6	222.68	73.54	1912.94	118.52	10240043
135.69	17	291.55	6.5	2225.55	114.06	9854570
128.75	16.59	288.94	74.91	1373.21	119.17	10296430
126.75	15.29	250.49	128.69	-15088.98	118.48	10236824
139.69	16.02	210.88	217.6	800.13	136.07	11756312
128.05	16.97	150.83	99.14	1640.43	112.54	9723425
96.29	19.77	56.14	82.18	1772.16	50.32	4347995
148.73	17.66	161.38	145.46	2099.19	110.59	9554650
142.87	17.73	162.11	93.57	2394.08	108.91	9409948
140.54	17.46	186.65	58.01	1979.17	113.1	9771578
142.03	17.25	198.99	123.76	1428.72	119.91	10360426
137.43	17.12	202	151.23	-1577.8	124.42	10749917
135.51	16.69	227.54	220.62	-23020.71	104.34	9015203

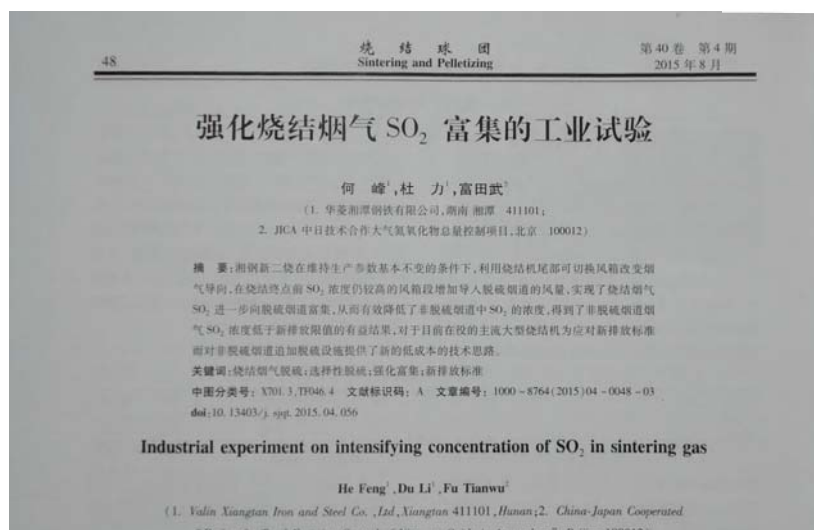


W.Bの組合せにより排ガス中のSO₂を濃縮処理し、SO₂の排出削減を実現させた。

	SO ₂ 濃縮率 %	風量 m ³ /h	排出量 t/a	排出削減量 t/a
W.B組合せ前	85.53	820000	2066	
W.Bを1組組合せた結果	86.48	820000	1976	90
W.Bを2組組合せた結果	90.02	820000	1643	423
W.Bを3組組合せた結果	96.40	820000	1041	1025

26

当該成果はすでに双方で論文を連名発表した。



27



W.B組合せによる排ガス中のSO₂を濃縮するメリット

- ✓コストが低い
- ✓効果がすぐ出る

難点: 下記要素間のバランスコントロール
両煙道のNO_xとSO_x濃度の関連
両煙道の温度
両煙道の風量
焼結鉱の品質

28

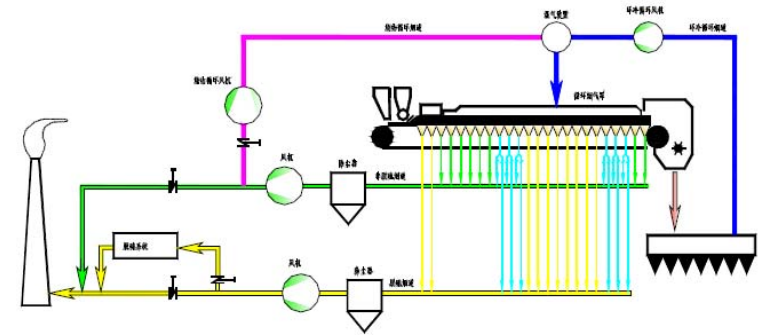
5.2 排ガス循環プロジェクトの推進



JICA専門家が提案した焼結排ガス循環によるNOx排出削減技術について、湘鋼はそれぞれ中国国内の中冶長天国際工程有限公司及び無錫東方環境工程有限公司に提案依頼書及びF/Sの作成を依頼した。

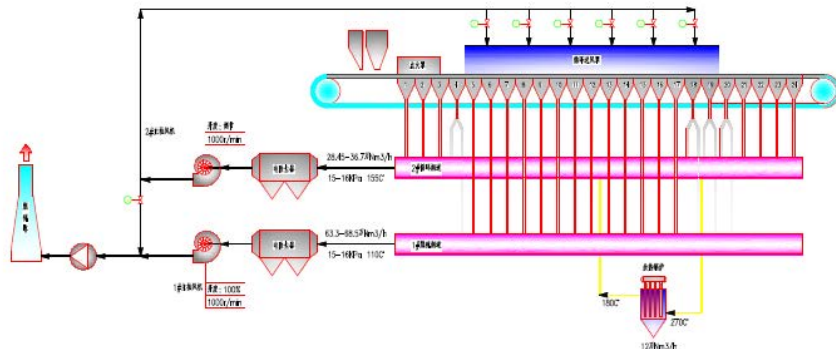


中冶長天提案の排ガス外循環案



排ガス循環技術(外循環)システムフロー図

無錫東方提案の排ガス外循環案



プロセス略図

排ガス循環によるNOx排出量削減見込み



	NOx mg/m ³	1#風量 m ³ /h	2#風量 m ³ /h	排出量 t/a	排出削減量 t/a
排ガス循環前	~220	820000	820000	3031	
排ガス循環後	~260	1000000	0	2184	847

排ガス循環による排ガス排出量削減見込み

	1#風量 m ³ /h	2#風量 m ³ /h	排出削減量 m ³ /h
排ガス循環前	820000	820000	
排ガス循環後	1000000	0	640000

排ガス循環による省エネ見込み

粉コークス消費 原単位低減kg/t	毎年粉コークス 消費量低減 t/a	価値 万元/a
2.5	9828	786



後続のプロジェクト推進中に引き続きJICAからの技術サポート及び協力を期待しております。

33



ご清聴ありがとうございました。

34

セメント製造業のNOx抑制対策について

2015年11月27日
北京凱迪克格蘭雲天大酒店
JICA専門家 藤井重雄

1

目次

1. 日本におけるNOx排出削減対策の概要
2. セメント製造工程におけるNOx生成の抑制対策技術
3. 燃焼場のNOx生成抑制
4. NOx除去技術(排煙脱硝)
5. 焼成工程における低NOx方式への改善
6. 既設の焼成炉における改善の留意点
7. 省エネルギー対策とNOx排出総量削減
8. 運転管理技術

2

1. 日本におけるNOx排出削減対策の概要

• NOx排出基準・規制の経緯

セメント製造業は排ガス量が多く、公害型産業であり、地域の大气汚染に係わる公害発生源業種として1950年代から地方自治体の対策の対象とされた。

1972年 川崎市総量規制の導入

1973年 環境基準の設定 ⇒NO₂の環境基準設定

1974年 四日市市総量規制⇒実際の施行は猶予

1978年 環境基準の改定

NO₂:1hr値の1日平均値 0.04~0.06ppm又はそれ以下

• 排出基準

1973~1979年改定を経て 排ガス量 >10万m³N/h 250 ppm
(O₂=10%vol)

• 総量規制

実際の施行は1981年東京都・横浜市・大阪市で導入、セメント業も対象

• 実際の削減効果

1985年度に1975年度比で排出総量60%以下達成

3

• NOxの生成工程

セメント製造において、NOxが生成する工程は、**焼成工程**である。

焼成は高温雰囲気中でクリンカーを生成するため、**Thermal NOxの生成領域**となる。

• NOx抑制対策

日本のセメント製造業では燃料中のN分が起因となるFuel NOx、上述のThermal NOxに対して発生抑制の対策を講じてきた。さらに日本以外の世界のセメント製造業においても、日本と同様に以下に大別されるNOx抑制対策が導入されている。

■ 燃焼場のNOx生成抑制

✓ Fuel NOxの生成抑制

✓ Thermal NOxの生成抑制

■ 排煙脱硝

主にSNCR方式が幅広く導入されている。

■ 焼成プロセスの改善

NSP方式へ改善又は焼成ラインの新設

■ 適正な管理・省エネルギー対策

4

3. 燃焼場のNOx生成抑制

● Fuel NOxの生成抑制

日本では石油系、ガス系、石炭、廃棄物と多様な燃料が使用されており、NOxはこれらの燃料中に含まれる窒素酸化物のN分が転換し生成される。

ガス燃料のN₂形で存在する物は、NOxに転換しない。

仮焼炉では Fuel NOxの生成比率がThermal NOxより大きく、低減対策として次の2方法が適用されている。

■ 燃料中のN分の低減

低N分燃料への転換を行う。

低NOx化の順位は、微粉炭>重油>軽質油>天然ガスとなる。

■ 初期燃焼域でのO₂濃度の低減

バーナー構造で揮発分燃焼領域に排ガスの挿入等を行い低O₂部を形成する等の方法がとられた。

さらに、日本では緊急時には Dual Firingを採用しガス燃料に切り替える等の方式もある。

5

3. 燃焼場のNOx生成抑制

● Thermal NOxの生成抑制

セメント製造業は、焼成温度の制約(温度を下げられない)、キルン火炉の構造などの制約がある。特に微粉炭燃焼の場合、燃焼場における生成抑制には技術的な限界がある。

Thermal NOxの生成抑制について、日本では発生抑制に効果がある下記の3条件を満たす低NOxバーナーの開発が、セメント事業者とバーナーメーカーの協働で開発されており、多様な形式が使用されている。

■ 燃焼温度の低下・・・限界があるが局所燃焼や過高温を制御する

■ 燃焼域でのO₂濃度の低減・・・低空気比燃焼

■ 高温域でのガス滞留時間の短縮・・・長炎や風箱構造の改善

● 低NOxバーナーの形式

・混合促進型 ・濃淡燃焼型

・二段燃焼型 ・排ガス循環組合せ方

・自己循環型 など

(構造、設計諸元等ほとんどが特許取得機器)

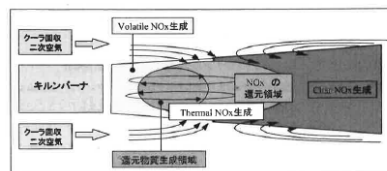
6

3. 燃焼場のNOx生成抑制

▶ Kiln burner 火炎におけるNOx生成・還元反応の概念

燃焼場におけるNOx生成の低減は火炎域における還元領域の形成に影響される。

バーナー構造は火炎の動的形成のなかで如何にしてNOxの還元領域部を作るかが開発のポイントとなる。

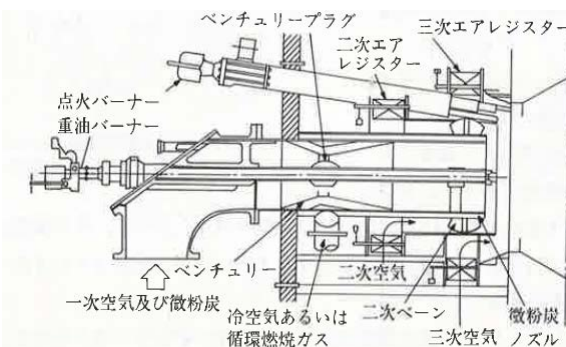


7

3. 燃焼場のNOx生成抑制

▶ 微粉炭用段階的燃焼低NOxバーナー

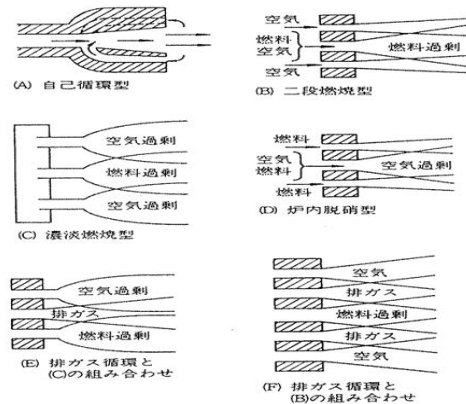
空気の循環・混合方法に特徴がある。



8

3. 燃焼場のNOx生成抑制

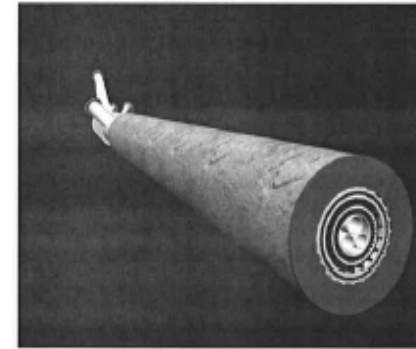
▶ 低NOxバーナーの原理構造



9

3. 燃焼場のNOx生成抑制

▶ 多機能Kiln burner(多燃料燃焼用)



10

4. NOx除去技術(排煙脱硝)

● セメント製造業のNOx排出濃度

焼成温度の制約から、燃焼技術の改善効果に限界があるため、他の製造業より一般的に高い。地域の排出規制値を超える場合は排煙脱硝を行う。

● 排煙脱硝方式

SCRとSNCRがある。日本では総量規制の発令時や排出濃度が規制値を超える異常時等の対策にSCRを装備している事業所が多い。

■ SCR(選択還元触媒)

脱硝剤はSNCRと同様にNH₃を使用する。脱硝効率は高いが、触媒寿命、設置場所の制約、ガス流動圧損失、目詰まり、大改造(既設の改善)を要するなどの欠点がある

■ SNCR(選択的非触媒還元法)

排ガス中にNH₃や尿素を吹込み還元する方法である。構造は反応装置が不要で簡単であるがノズルの噴霧特性や耐用性、噴霧ガス温度などの把握に実証的な試行を要する。

脱硝効率はSCRより劣る。既設煙道や炉出口に反応時間が取れるスペースがあれば、改造が容易である。

世界における排煙脱硝の形式別普及率でもSNCRが大部分を占める。

11

5. 焼成工程における低NOx方式への改善

▶ NSP(New Suspension Preheater)方式

■ 1971年に日本のSP方式の改良型として、三菱セメント株式会社により開発され、日本のセメント製造業の低NOx化に大きく貢献した。

■ 日本では 1997年に国内の全プラントがNSP方式へと転換された。

(転換率 世界第1位)

■ 現在では、低公害、高熱効率、小スペースなどの優れた点が評価され、欧州、アジア諸国で多く導入されている。既設ラインの改造ではSP等のスペース、改善期の運休等の検討を必要とする。

■ SP最下段に設けられた仮焼炉でCaCO₃の分解をほぼ完了させる。

■ Clinkerの焼成を焼成炉とKilnと二段階に分けて行う方式である。

■ 効果として、Kilnの熱負荷が下がる為、**Kilnで生成するThermal NOxが低減する。**

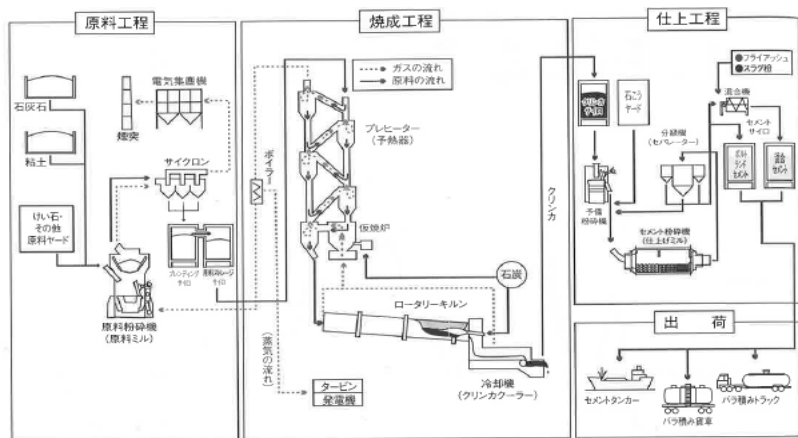
■ 全生産工程から排出される**NOx総量を低減**できる。

■ **熱効率が高いため燃料消費率も下がり、結果的にNOxの排出量が削減する。**

■ 仮焼炉は、Thermal NOx生成の温度域以下の低温の反応であるため、低品位の燃料(可燃性廃棄物、廃油、低質油等)が使用でき、コスト削減が可能である。

12

▶ NSP方式のFlow Sheet



6. 既設の焼成炉における改善の留意点(1)

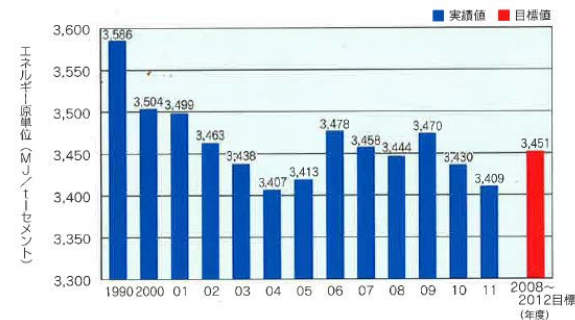
- 脱硝剤吹込装置の設置に際して
 - ① 脱硝剤の吹込み個所の事前の調査
 - ガス温度(°C)・ガス圧力(mmWC)・ダスト濃度(mg/m³)
 - ガス通過断面形状及び前後の形状(ガスの偏流確認)
 - ② ノズルの噴射機能等の確認
 - 噴射圧力とその制御特性(設定値±〇%)
 - 噴霧角度(可能なら有効到達距離←雰囲気下で実験可能)
 - 耐用性(材質、耐温耐食性)
 - ③ NH₃濃度センサー及び調節計の機能確認(正常作動)
 - ④ 脱硝剤注入量制御弁の作動確認
 - ⑤ 管理用計器の保守・管理
 - 脱硝剤注入圧力計・温度計・流量計の指示&作動
 - 希釈空気を用いる場合 空気圧力

6. 既設の焼成炉における改善の留意点(2)

- 低NO_xバーナの設置に際して
 - ① 炭質の確認
 - 使用炭のN含有量(平均値、Max値)
 - ② 微粉炭粒径分布(PC粉砕機の機能の確認)
 - ③ 燃烧火炉の形状(風箱・ダンパーなど)と採用するバーナー形式の適合性
 - ④ 燃烧用空気の温度⇄再循環ガス量・温度の制御性、最適の実証試験の実施
 - ⑤ Kiln形状と火炎形状の適合性の確認

7. 省エネルギー対策とNO_x排出総量削減

セメント産業は典型的なエネルギー多消費産業である。省エネルギー対策は、製品に占めるエネルギーコスト、排ガスに関わるCO₂、NO_x排出総量の低減に、間接的に関わる重要な合理化策、環境保全対策である。日本のエネルギー消費原単位は1990年代から世界一を維持している。

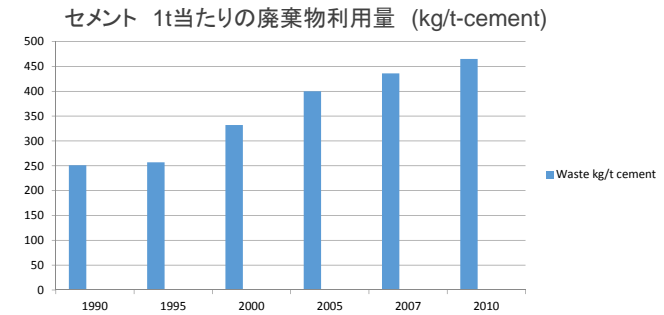


▶ 省エネルギー技術の普及率・削減原単位（経済産業省資料）

対象設備	普及率(%)	エネルギー削減原単位
排熱発電(AQCなど)	60	3.5~4.0 kWh/t clinker
Slag Mill(縦型)	73	40 kWh/t clinker
Roller Mill(予備粉砕)	46	10~20 %/ 仕上工程
Air Beem Cooler	50	0.5~1.5 kWh/t clinker
原料Mill(縦型)	46	30% /原料工程

▶ 廃棄物の利用

廃棄物の適正処理と原料・燃料として再生利用が図れる複合メリット効果があり、日本ではセメントビジネスの重要な方策である。
化石燃料消費の削減はNOx排出量削減等の環境保全効果も生じる。



8. 運転管理技術

セメント製造業に限らず日本の環境管理は、下記の重層的な管理方法が確立しており、NOxをはじめとする大気汚染物質の排出監視、制御、施設管理が実行されている。

● 常時監視システム

セメント業は排ガス量が大きいため、殆どの事業所は**行政機関の常時モニタリング下で監視**されている。総量規制対象事業所は1時間値の把握等が完全に管理できる体制が法定されている。

● 管理者制度

排ガス量により法的に特定工場に該当する場合は、国家資格を有する**公害防止管理者の選任が義務化**されている。管理者は施設の監視、測定、緊急時の措置、施設の維持管理などを担当する。管理者制度は日本の公害防止に大きな貢献をしている。

● 環境マネジメントシステム(EMS)

ISO14000やECO ACTION-21制度の普及は、企業の自主的なNOx排出削減活動に大きな効果が認められる。

● 計量制度:

環境計測や燃料の分析などは専門的技術を国家資格として保証して、計測の信頼性の維持やデータ管理を担保している。**(環境計量士制度)**

鉄鋼コークス炉のNO_x排出抑制対策について

2015年11月27日
北京凱迪克格蘭雲天大酒店
JICA専門家 藤井重雄

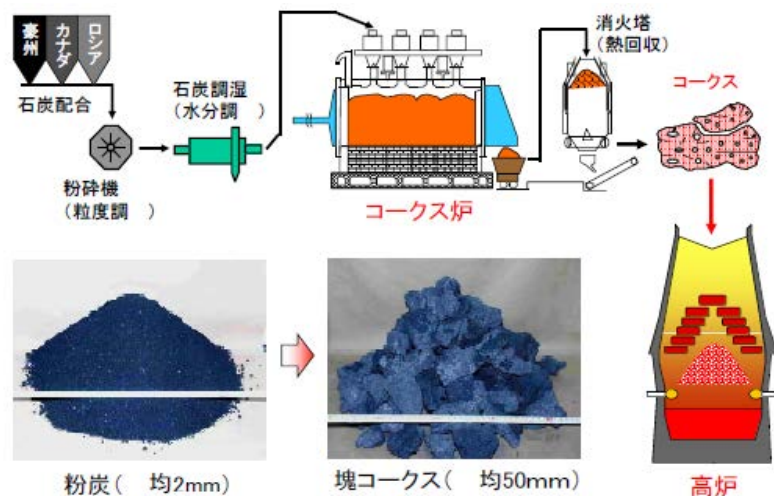
1

NO_x対策技術

- 日本におけるコークス炉はコークス炉ガス(COG)を直接大気放出することではなく、その他の施設の熱源としてカスケード的に利用されている。
- 従って最終段の施設やコークス消火設備CDQで排熱回収等された後、集塵・脱硫・脱硝等の処理が行われる。
最終段の脱硝法: SNCR・SCR(ボイラなどと同じ)
- COGには、HCN、NH₃を含む
- 生成低減法: 再循環法 部分燃焼法など(特許)

2

銑鉄生産工程におけるコークス炉



3

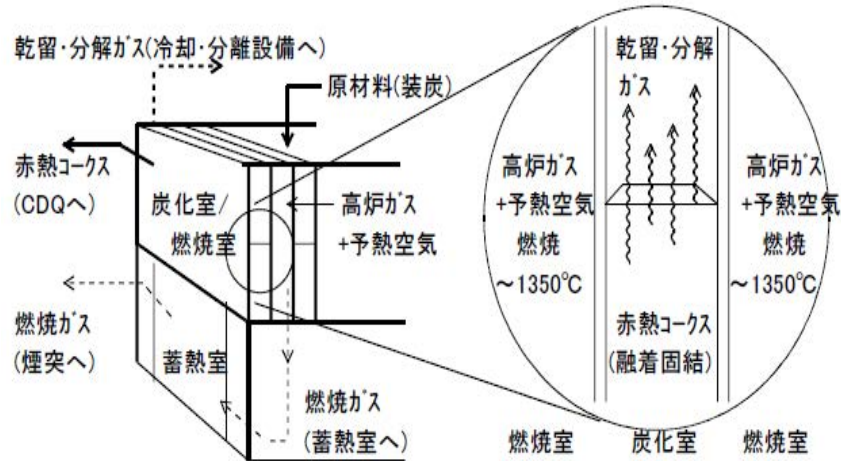
日本のコークス炉のNO_x排出基準

施設 ^①	型式 ^②	排出ガス量(万 m ³ N/h) ^③	On (%) ^④	排出基準値(ppm) ^⑤
コークス炉 ^①	オート型 ^②	10 以上 ^③	7 ^④	170 ^⑤
		10 未満 ^③		
コークス炉 ^①	その他の型式 ^②	10 以上 ^③	7 ^④	170 ^⑤
		10 未満 ^③		

①

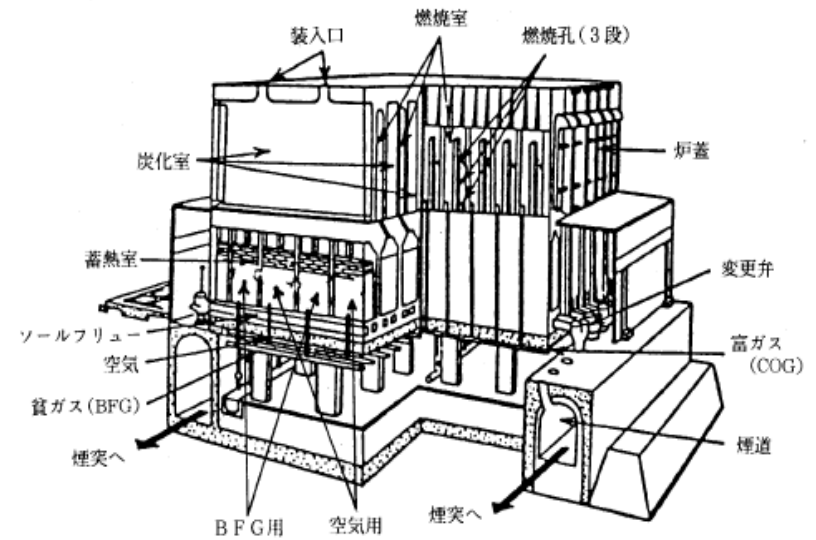
4

コークス炉の概念構造



5

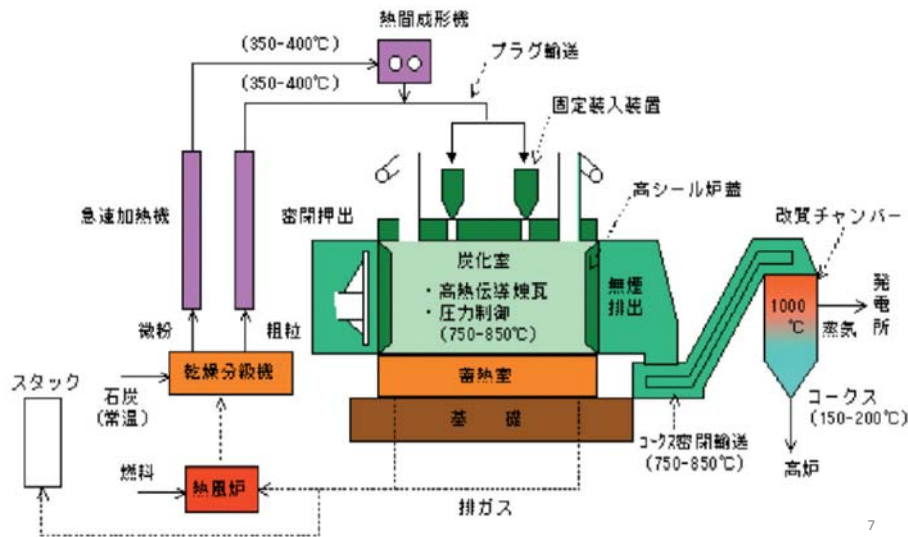
代表的なコークス炉の部位構成



6

次世代コークス炉の開発 SCOPE21

開発目標 NOx <170ppm



7

コークス炉の熱管理

- 日本のコークス炉の熱管理は義務化されている。
- 熱精算結果の行政機関への定期的報告
- 計量監視・自動燃焼管理

-管理対象-

- 装入炭水分測定
- 装入炭料計測
- 燃料温度・コークス温度
- 発生ガス量

-結果-

炉毎のガス分配調整
窯毎の火落時間の調整

8

鉄鋼焼結炉のNOx抑制対策について

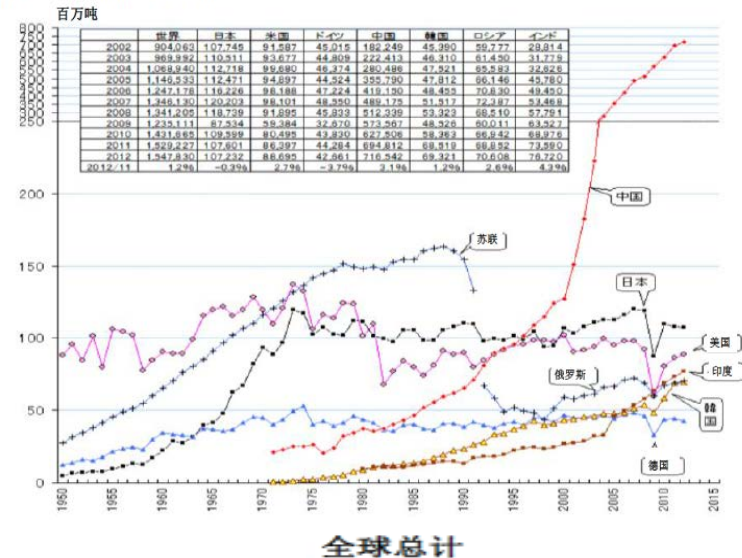
2015年11月27日
北京凱迪克格蘭雲天大酒店
JICA専門家 富田 武

目次

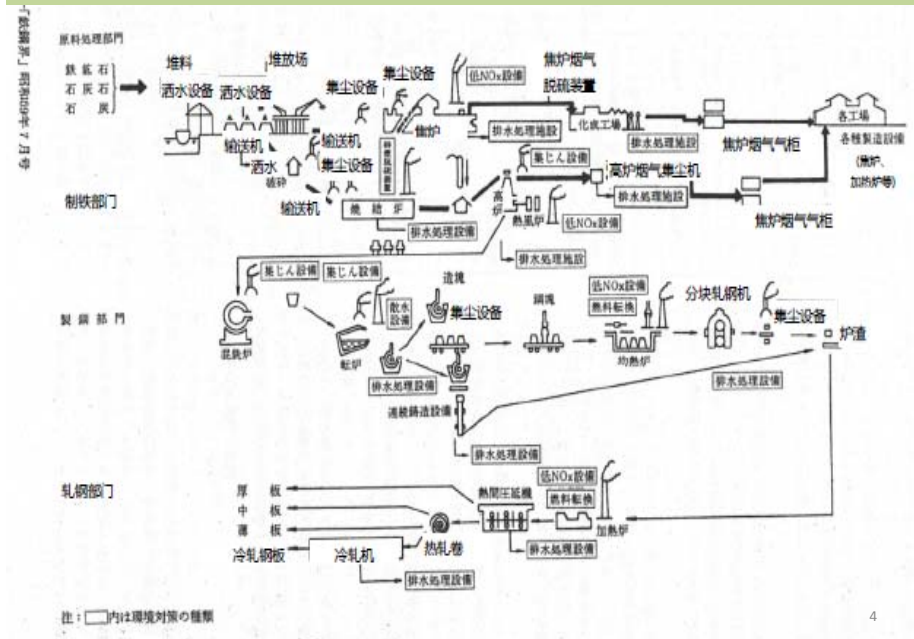
- 鉄鋼業の現状・環境対策
- 焼結機の管理項目と操業管理
- 焼結機のNOx発生機構、排ガスマップ
- 焼結機のNOx抑制技術
 - 原料管理、操業管理、排ガス処理
- 排ガス処理
 - 排ガス循環によるNOx抑制とその効果
 - 選択還元触媒法(SCR)
 - 乾式排煙脱硝法(AC)
- 焼結機の漏風低減対策
- 排熱回収
- モデル企業における削減対策
 - NOx排出マップの作成
 - ケーススタディによる対策案検討

鉄鋼業の現状と環境対策

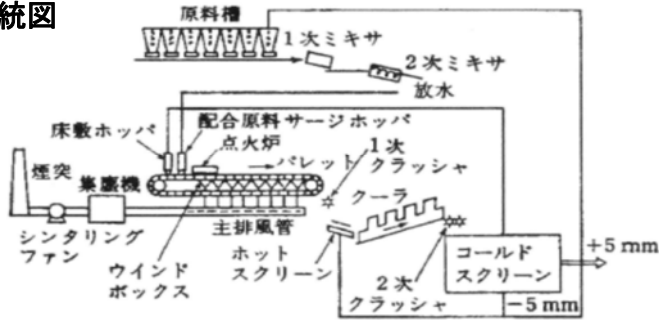
国际与日本粗钢产量的变化



鉄鋼業の現状と環境対策



DL式焼結機系統図



有害成分	排出濃度
Dust	0.5~3g/Nm ³
SOx	400~1000mg/Nm ³
NOx	300~700mg/Nm ³
DXN類	0.5~5ngI-TEQ/Nm ³

焼結排ガス中有害物質

出典: Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel December 2001

(1) 焼結機の管理項目

- ① 製品品質: 落下強度、回転強度、被還元性 他
- ② 燃料原単位
- ③ 生産性

(2) 操業管理

- ① 原料混合予備処理
- ② 装入、点火、焼成
- ③ 冷却、製品粒度調整
- ④ 排ガス管理

焼結機のNOx発生機構、排ガスマップ

Fuel NOx の発生機構

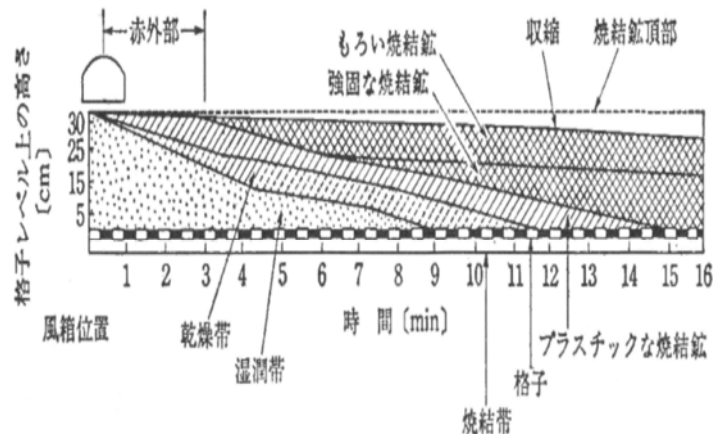


図3 焼結進行状況

焼結機のNOx発生機構、排ガスマップ

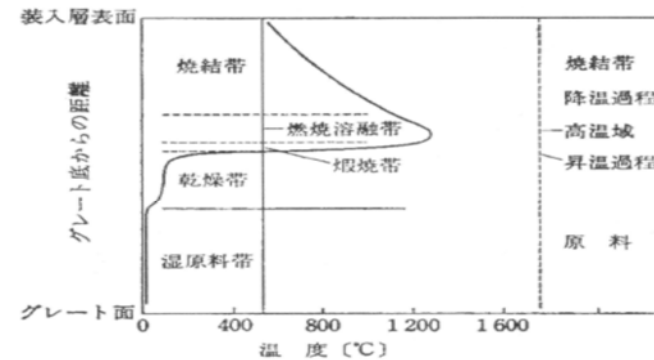


図4 装入層の代表的な温度曲線

発生源 : コークス含有窒素・原料鉄鉱石中の窒素 (コークス窒素が支配的)

コークス中の窒素: N, NH, NH₂, NH₃, CN, HCN に分解酸化帯で酸素と反応し、N+1/2O₂→NOによりNO_xを生成する。

降温過程から火炎内の酸素分圧が低い還元帯では、再結合反応のN+N→N₂、NH+NH→H₂+N₂などにより生成が抑制される。

焼結機のNOx発生機構、排ガスマップ

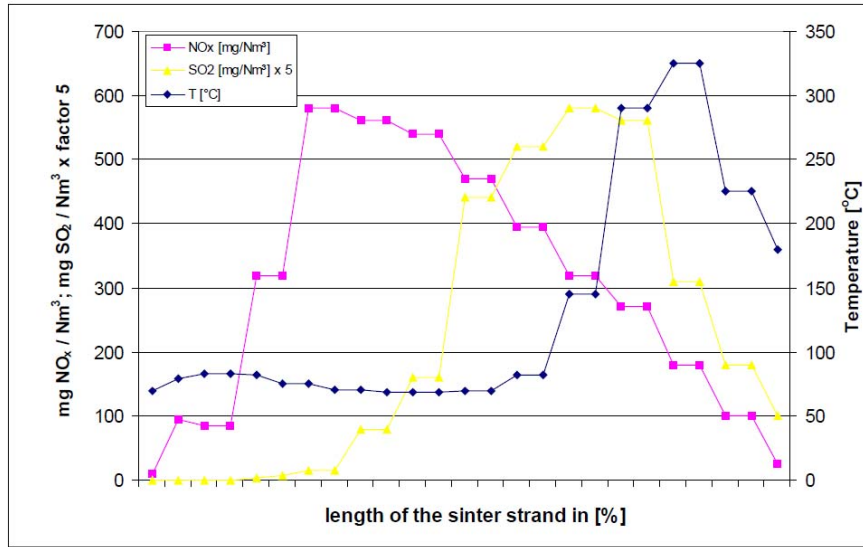


Figure 4.8: Typical emission profile of SO₂ and NO_x in the waste gas (individual wind-boxes) and the temperature curve along the sinter strand - based on [Neuschütz, 1996]

焼結機のNOx抑制技術

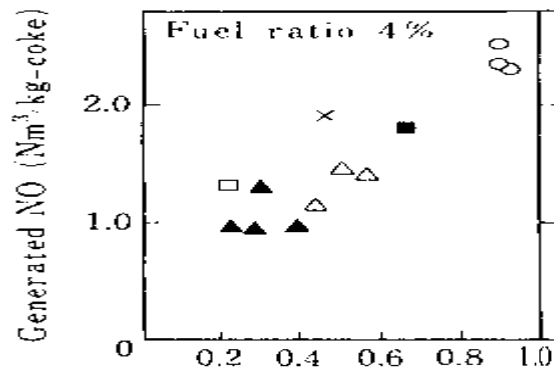
鉄鋼業の主なNOx発生設対策と効果

設備名	主発生メカニズム	抑制対策	効果	備考
焼結機	Fuel-NOx	低窒素コークスの使用	N含有比率低下に比して低下	低窒素粘結炭の確保が必要
		石灰石の添加	効果あり	石灰石によるNOx発生抑制
		点火ラインバーナの改善		
		排ガス循環	25~40%削減	省エネ効果：循環排ガス循環ガス量25~50%
		乾式排煙脱硫脱硝装置	脱硝性能：一段処理約40% 二段処理約80%	1999年より実用化 ダスト、NOx、SOx、ダイオキシン他有害物質同時除去
		選択触媒脱硝装置(SCR)	脱硝性能：80~90%	1970年代実用化
コークス炉	Thermal-NOx	低N石炭の使用 燃焼装置の改善 低NOxバーナ 多段燃焼 排ガス循環	効果あり 効果あり 効果あり	
加熱炉	Thermal NOx	低NOxバーナ リジェネバーナ	効果あり NOx約30ppm	蓄熱式で超低NOx燃焼 燃料消費量約25%削減
均熱炉	Thermal NOx	低NOxバーナ リジェネバーナ	NOx120 ppm以下	

注記:コストについては情報入手不可能のため記載できない。
【注記事項】コスト分析はメーカーであり、情報の入手は不可能である。従って、コスト分析は不可能のため、表にコスト分析は記述していない。

焼結機のNOx抑制技術

Relation between Nitrogen Concentration in fuel

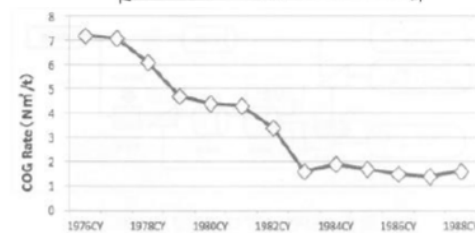
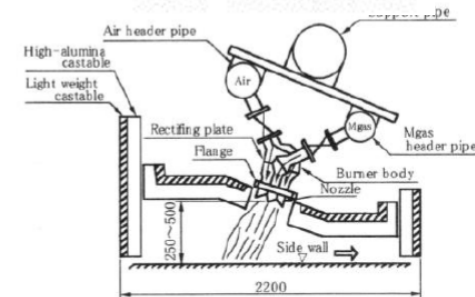


燃料添加量、原料粒度、吸引負圧などの焼結条件が一定であれば、燃料中の窒素濃度が低いほどNOxの生成量は減少する

出典:佐々木見他、焼結過程のNOxの生成と燃料中窒素濃度、燃焼条件の影響、川崎製鉄技報
Vol.10 No4 pp 19-28

焼結機のNOx抑制技術

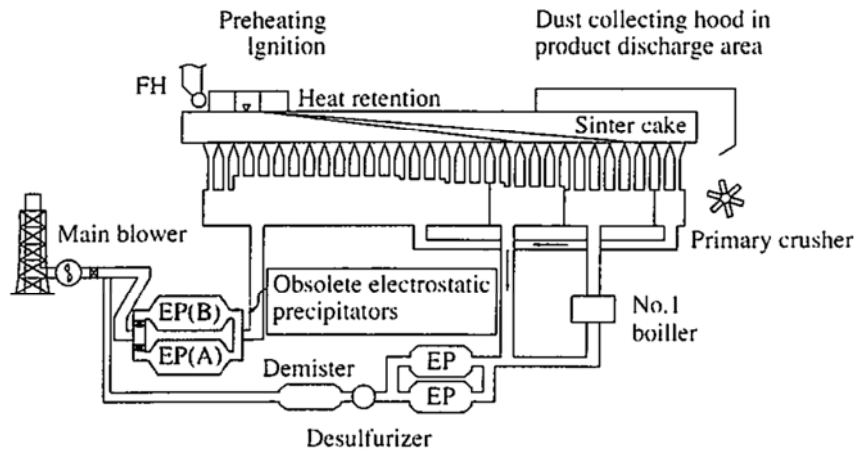
点火炉列管燃焼器例



点火炉 COG 率変化例

排ガス処理

新日鉄戸畑第3焼結機排ガス循環



出典：新日鉄技報第360号、48ページ

13

排ガス処理

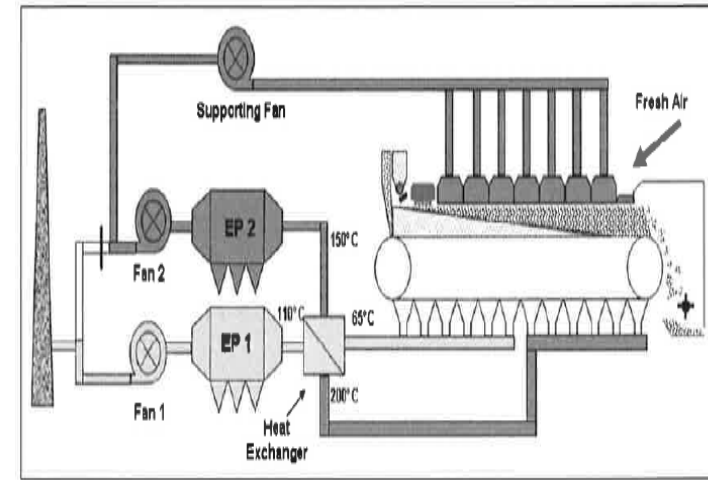


Figure 3.23: The LEEP (Low Emission and Energy optimised sintering Process) process was developed by Hüttenwerke Krupp Mannesmann

14

排ガス処理

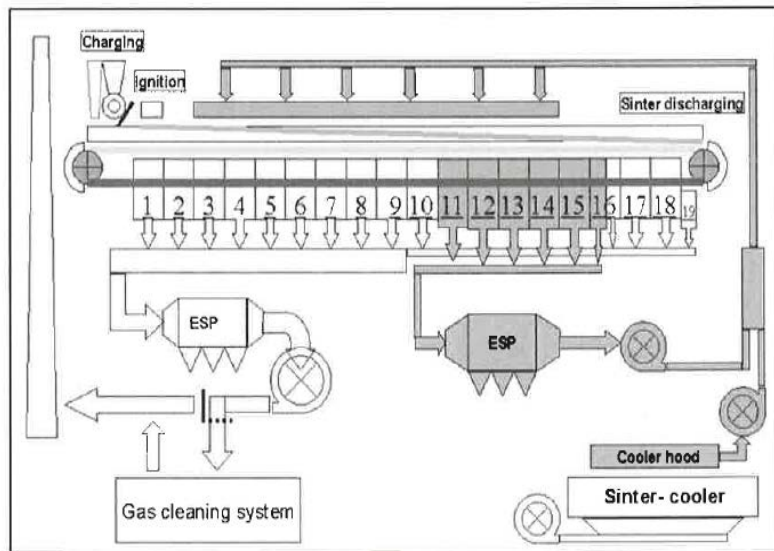


Figure 3.24: Schematic diagram of the EPOSINT gas recycling technique installed at sinter strand No. 5 of Voestalpine, Linz, Austria

15

排ガス処理

焼結排ガス循環による排出削減効果

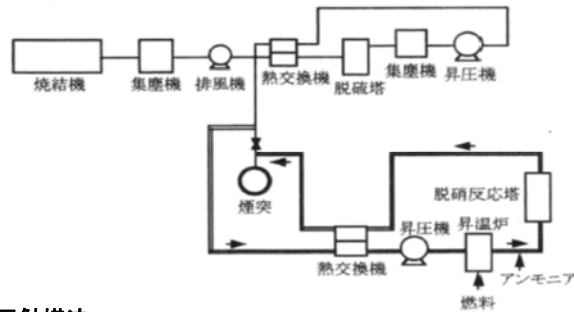
NO.	技術名称	開発業者	排ガス量及び汚染物質発生量低減状況					省エネ効果
			排ガス量	TSP	SO ₂	NOx	ダイオキシン	
1	EOS	オランダ Imuiden	煙突部の粉じん・NOx量 45%近く削減	45%近く		45%近く	ダイオキシン 約70%削減	
2	Eposint	オーストリア Voestalpine	トン当たり焼結鉱 排ガス量 25%~35%削減	30%~35%削減	25%~30%削減	25%~30%削減	約30%削減	コークス粉原単位焼結鉱 2~5/t 低減
3	LEEP	ドイツHKM	トン当たり焼結鉱 排ガス量 45%削減	50%~55%削減	27%~35%削減	25%~50%削減	75%~85%削減	固体燃料 7kg/t焼結鉱低減
4	特定ゾーンでの排ガス循環技術	日本 新日鉄	28%削減	40%削減	46%削減	3%削減		トン当たり焼結鉱純エネルギー消費量 6%低減
5	焼結排ガス排熱循環利用技術	宝鋼寧波 鉄鋼	30%~40%以上削減	最大 50%削減可能		排出総量 最大約 40%削減可能	排出量最大 60%~70%削減可能	焼結工程のエネルギー消費 5%以上低減

出典：“鉄鋼業におけるNOx対策技術の導入状況及び主要課題” 劉文權 冶金工業規劃企画研究院 2014年5月 JICA中華人民共和國 大氣中の窒素酸化物総量抑制プロジェクトセミナー 2014年5月16日北京

16

排ガス処理

NKK選択的接触触媒還元法



選択還元触媒法

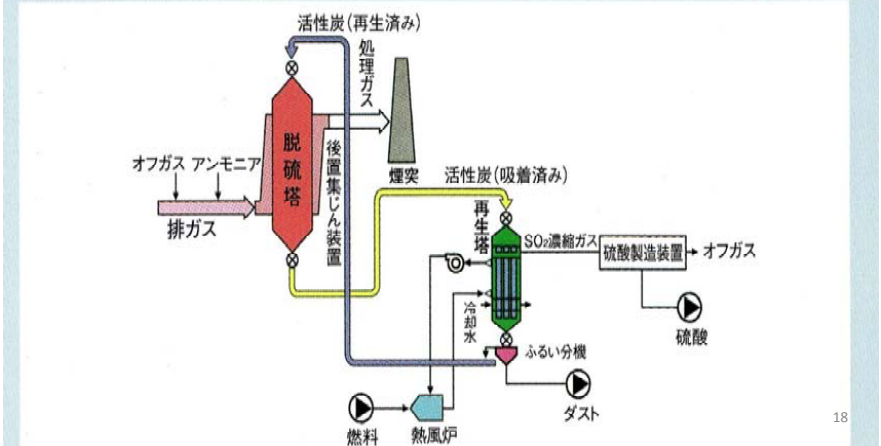
製鉄所名称	設備名	NOx除去率	運転開始年
川崎製鉄千葉製鉄所	No4焼結機	90%以上	1974
NKK京浜製鉄所	No4焼結機	70-75%	1979
China Steel Taiwan	No4焼結機	約80%	1997
	No1焼結機	約80%	1999

17

排ガス処理

乾式排煙脱硫装置

活性炭を充填した脱硫塔の中に排ガスを通し、活性炭に排ガス中の硫黄酸化物を吸着させ、再生塔に送ります。再生塔で活性炭から硫黄酸化物を脱離し、活性炭は再生され脱硫塔に送られ循環使用されます。また脱離された硫黄酸化物は濃硫酸として回収し有効利用します。



18

排ガス処理

乾式排煙脱硫脱硝装置

製鉄所名	プラント名	除去対象物質	運転開始年
新日本製鉄(株)名古屋製鉄所	No.4焼結機	SOx、NOx、DUST	1999
新日本製鉄(株)大分製鉄所	No.1焼結機	SOx、NOx、DUST、DXN's	2003
POSCO浦項製鉄所	No.3焼結機	SOx、NOx、DUST、DXN's	2004
"	No.4焼結機	SOx、NOx、DUST、DXN's	2004
新日本製鉄(株)君津製鉄所	No.3焼結機	SOx、NOx、DUST	2004
(株)神戸製鋼所加古川製鉄所	焼結機	SOx、NOx、DUST、DXN's	2009
山西太原不銹鋼股份公司	No.2焼結機	SOx、NOx、DUST、DXN's	2010
"	No.3焼結機	SOx、NOx、DUST、DXN's	2010

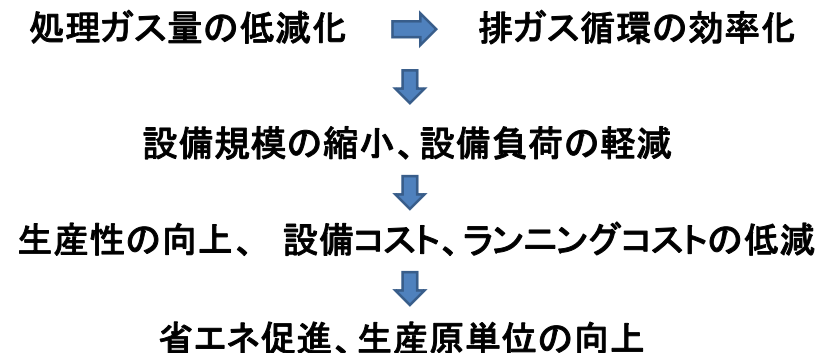
注)文献調査により調査した日本国内の入手可能な情報より作成

新日鉄住金千葉 By J-Power EnTech
Blue Scope Steel Port kembla Steel Works No3 Sinter Plant Australia
EU,USA実施なし(2010年時点)

19

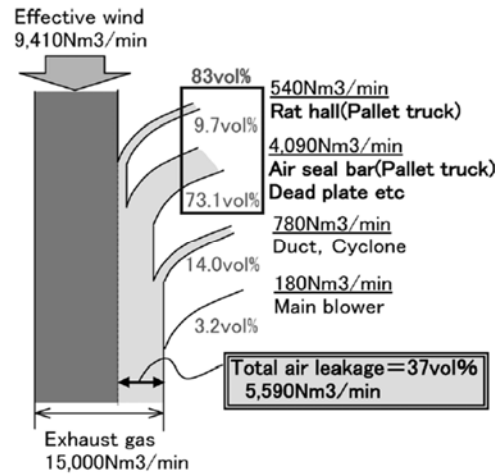
焼結機の漏風低減対策

目的&効果



焼結機の漏風低減対策

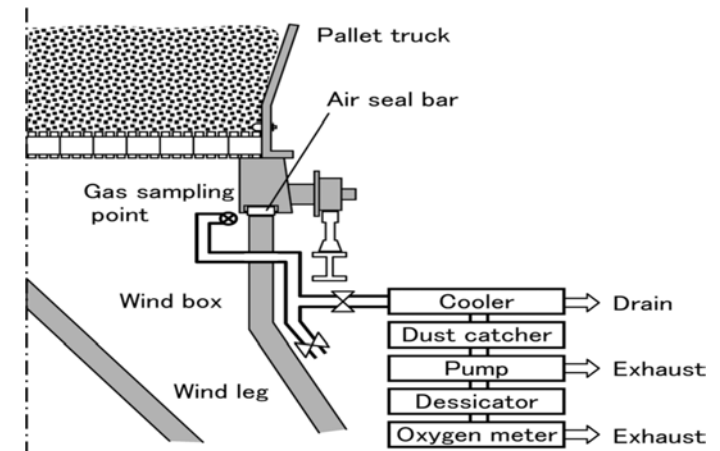
【漏風量の構成】



21

焼結機の漏風低減対策

【パレット台車とウインドボックスとの摺動部から侵入する漏風】



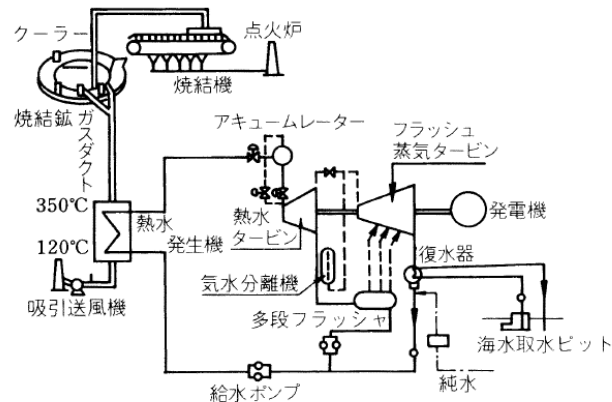
名古屋第3 焼結機における漏風低減対策

22

排熱回収

焼結機クーラ: 新日鉄八幡

稼働1979年～ 出典:鉄と鋼 66 (1980)、S629



回収方法:電力

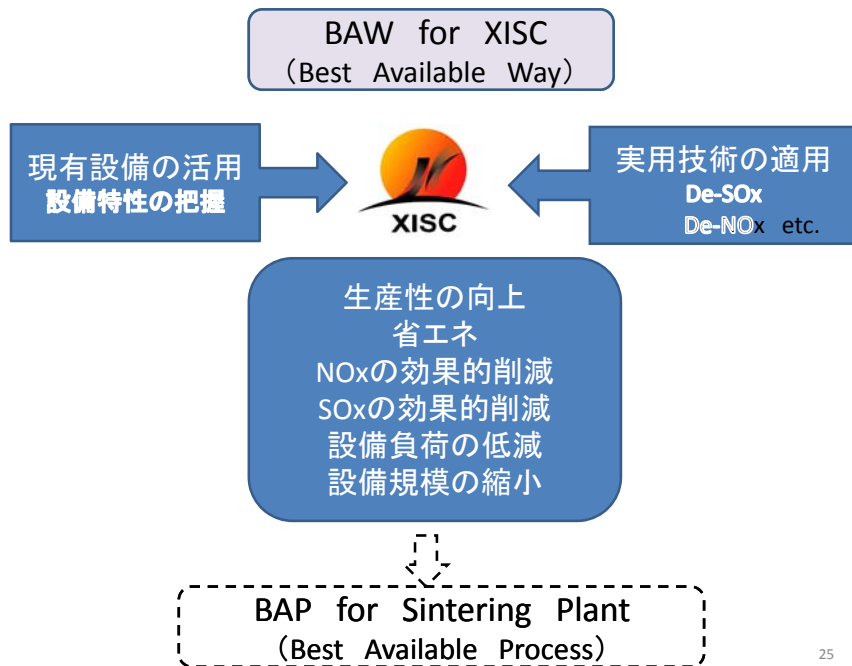
熱水発電(熱水250°C、50atg)+後段フラッシュ蒸気タービンの組み合わせ

23

モデル企業における削減対策

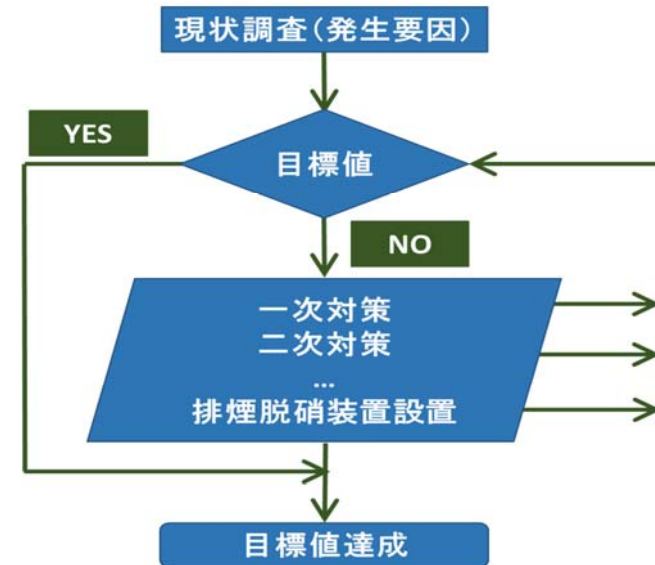
JICA 中国NO_x プロジェクト
 湖南華菱鋼鉄有限公司—新2号焼結機向
 NO_x低減技術検討

24



25

モデル企業における削減対策



26

モデル企業における削減対策

【目的】

新2号焼結機のNOx低減対策を検討し技術対策を提案する。

【プロセス】

- ①既存の実用化技術及び開発技術の適用可能性について検討する。
- ②適用可能性の高い技術に絞り、より詳細に新2号焼結機への適用を検討する。
* 検討に際しては2014年3月及び6月に実施した排ガス特性の測定データ(NOxマップ)を活用する。
- ③現状の設備状況、操業状況を踏まえて目標のNOx排ガス濃度を達成するための効果的な技術対策を示す。

27

モデル企業における削減対策

—適合可能性の評価—

現状の新2号焼結機の抑制対策としては、設備の改造、コスト、省エネ効果、技術的信頼性から総合的に判断して、排ガス循環によるNOx低減、抑制対策に優位性があると評価できる。

	NOx mg/m ³	SOx mg/m ³
規制値:	300	200
計画目標値:	***	***

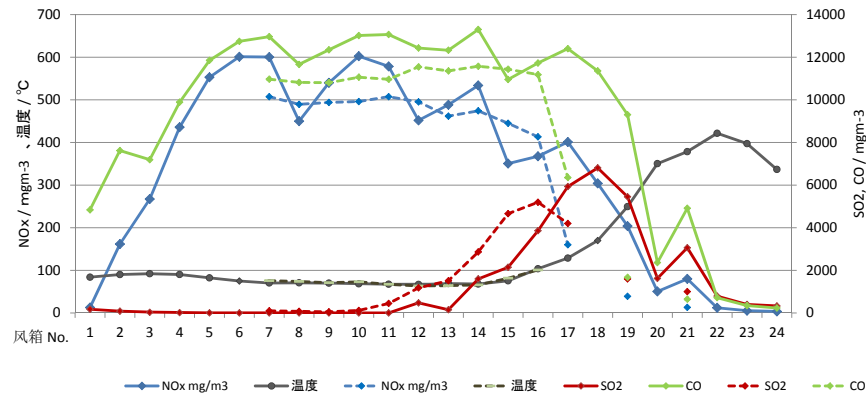
焼結機の排出基準

2012.10.01-2014.12.31 (既存企業)	・既設企業(2015.01~) ・新設企業(2012.10~)	特別規制値	モニタリング場所
500 mg/m ³	300 mg/m ³	300 mg/m ³	工場又は生産設備の煙道

28

モデル企業における削減対策

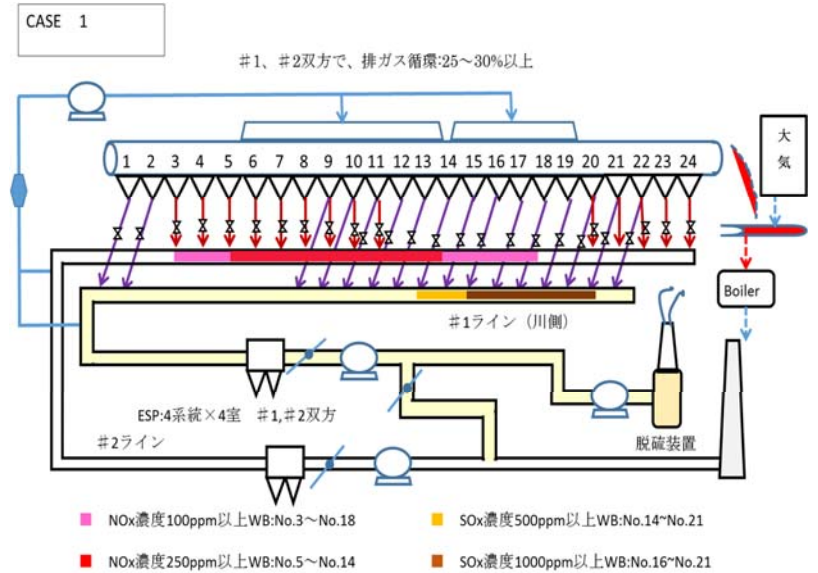
現状の把握



図：測定結果に基づき作成したNOx排出マップ

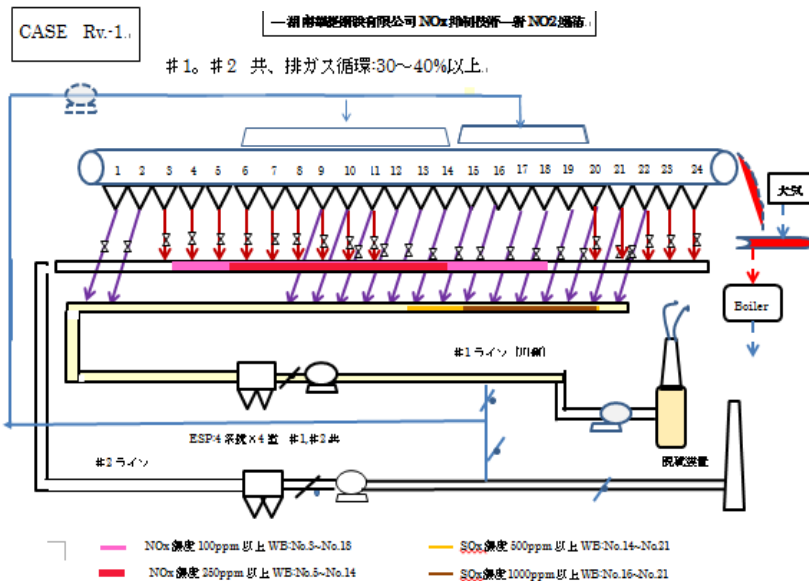
29

モデル企業における削減対策



30

モデル企業における削減対策



【湖南華菱鋼鐵有限公司&JICAとの協働による成果】

☆新2号焼結機のNO_x削減に対して具体的設備レベルでの改善対策の技術情報の交換、改善対策が共有された。

☆副次的成果として、SO_xの低減対策の検討、テスト実施により効果的対策が得られ、成果が実用化された。

《湖南華菱鋼鐵有限公司、関係部門の協力で成果が得られたことに感謝します。》

本PJの遂行に対して、中国関係部門(環境保護部、環境規畫院、湘潭市環境保護局)のご支援、ご協力に感謝します。また、貴重な技術情報交流を頂いた冶金工業規畫研究院にもお礼申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

石炭火力発電用ボイラの NO_x排出抑制対策について

2015年11月27日
北京凱迪克格蘭雲天大酒店
JICA専門家 藤井重雄

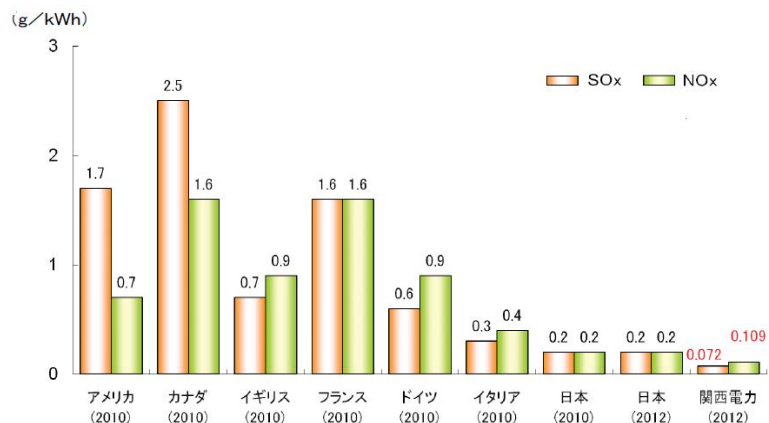
1

日本のNO_x排出規制等

- 環境基準 NO₂ 1hr値の1日平均値
 <0.04~0.06ppm
- 総量規制
 工場や事業所が集合している地域で3地域で
 規制している(2014)
- 排出基準
 炭質、ボイラ規模・燃焼方式毎に基準を設定
 O₂濃度=6%基準 200~350ppm

2

各国の火力発電所の環境負荷 SO_x, NO_x



出典
 ・海外: 排出量/ OECD.StatExtracts Complete databases available via OECD's iLibrary
 発電電力量/ IEA ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2012 EDITION

3

石炭火力用ボイラ形式等

	型式等	適用規模
燃焼方式	微粉炭	中大規模、高温高圧用
直接燃焼	ストーカー	小規模、低圧用
ボイラ形式	流動層	小中規模
	自然循環式	小規模、低圧用
	強制循環式	中大規模
	貫流式	中大規模

4

NO_x生成機構

- 工業用ボイラと同じく燃焼により生成するNO_x

Thermal NO_x + Fuel NO_x

- Thermal NO_x

① Zeldvich NO_x

燃焼温度が高い程、O₂濃度が高い程、高温での滞留時間が長い程 NOは増加

② Prompt NO_x

火炎部で生成、HCN・NHなどが原因

5

NO_x排出削減対策

- 燃焼場における生成抑制

①燃料改善・・・有機窒素化合物含有量の低い燃料(石炭)の使用

②燃焼改善・・・低酸素燃焼
高温域のガス滞留時間の短縮
火炎温度の低下

- 排煙脱硝

SCR 選択接触還元法

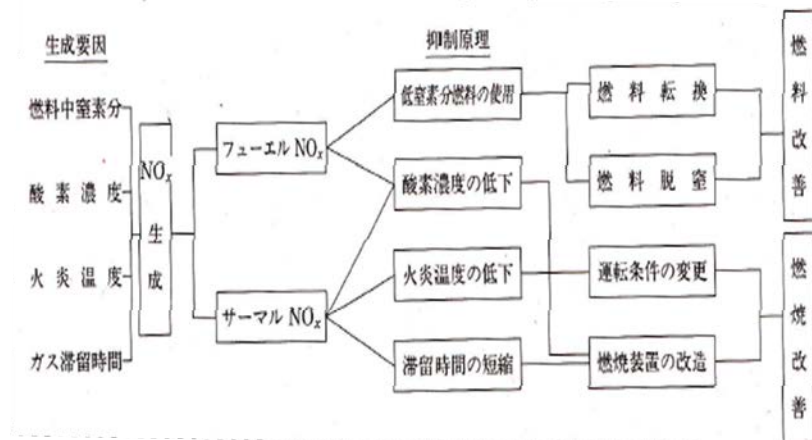
SNCR 無触媒還元法

活性炭吸着法

- 燃料消費量の削減省エネルギー(高効率化)

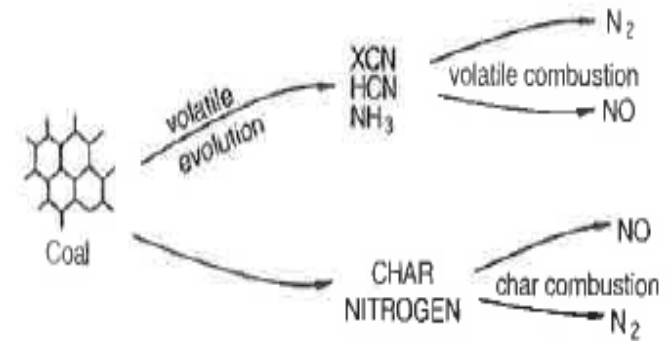
6

NO_x生成抑制技術



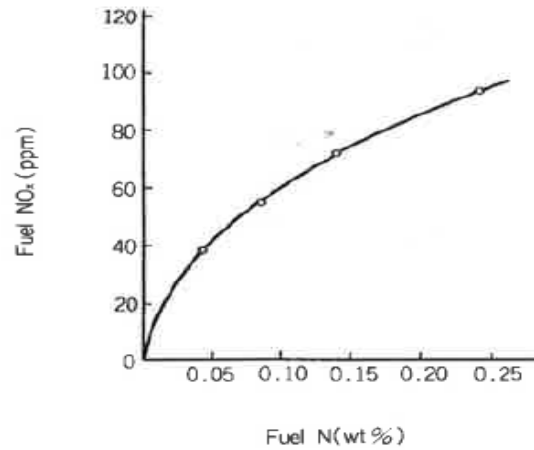
7

石炭中のN分の燃焼過程の挙動



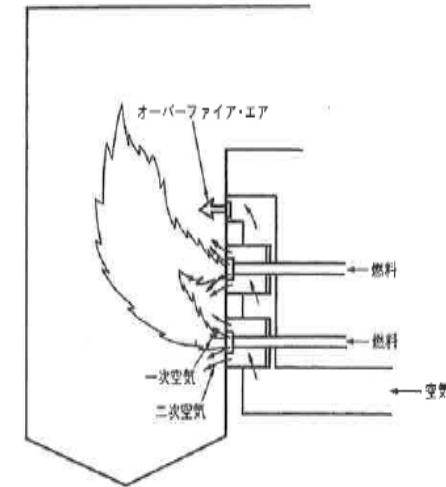
8

燃料中のN分とFuel- NO_xの関係



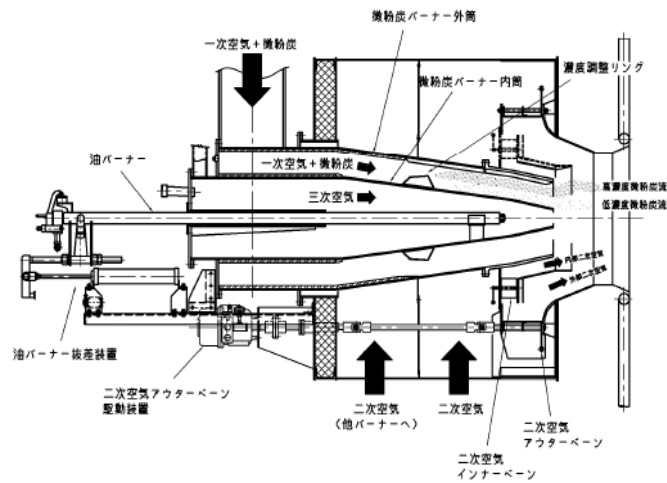
9

二段燃焼法の概念図



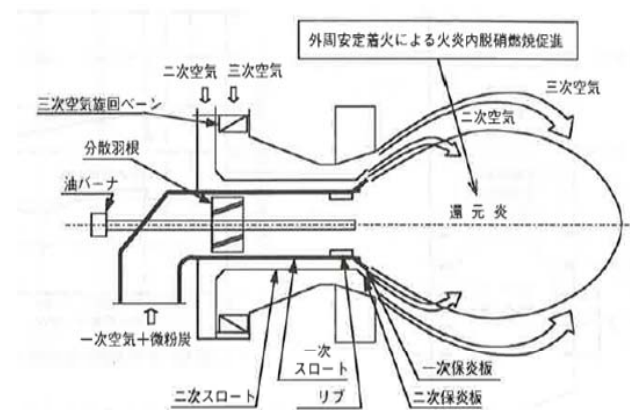
10

二段燃焼低NO_xバーナ (IHI)



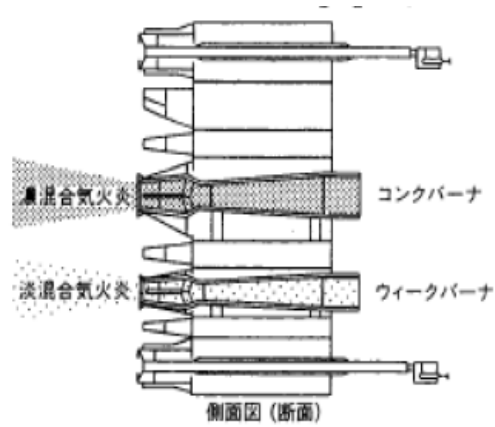
11

低NO_x微粉炭バーナ (川崎プラント)



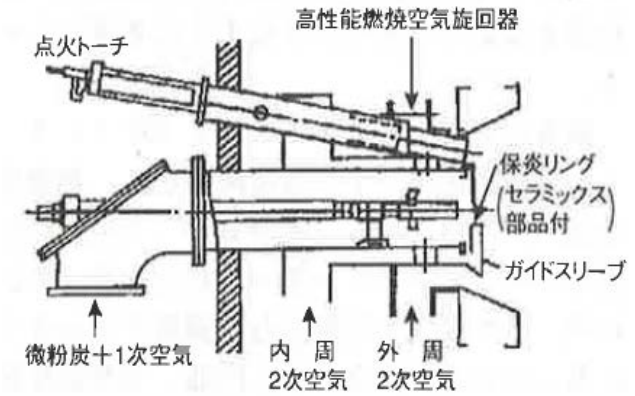
12

濃淡燃焼+二段燃焼組合型低NO_xバーナ(三菱重工業)



13

微粉炭NRバーナ (日立)



14

排煙脱硝技術 -方式と原理-

方式	原理
選択接触還元法 (SCR)	還元剤として NH ₃ を用い、触媒上で NO _x を選択的に還元除去する。乾式、排ガス量が多い処理に適する。 反応式 $4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ $NO + NO_2 + 2NH_3 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O$
無触媒還元法 (SNCR)	高温領域、無触媒条件下で NH ₃ を注入して NO _x を還元除去する。 $4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ (脱硝反応) $4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$ (薬剤燃焼反応)
活性炭吸着法	活性炭を用い、NH ₃ を注入して NO _x を選択除去すると同時に SO _x を吸着除去する。

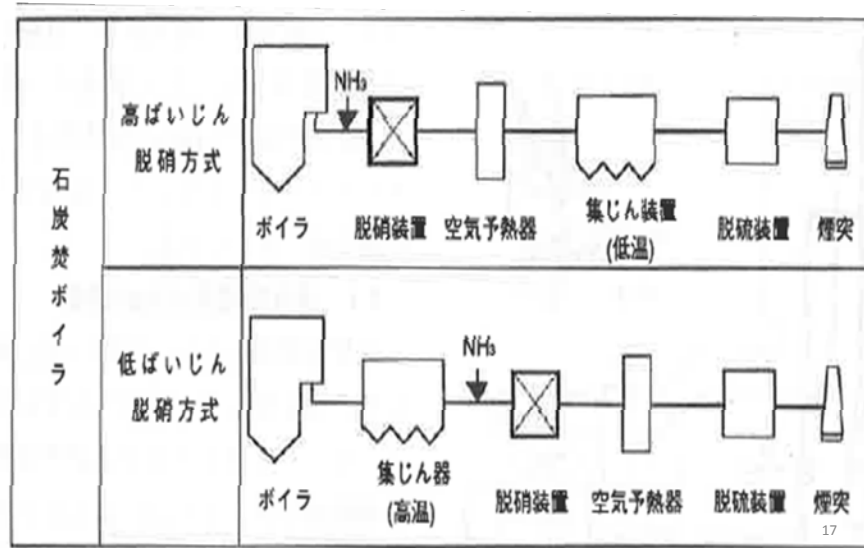
15

微粉炭焚ボイラのSCR設置要件の目安事例

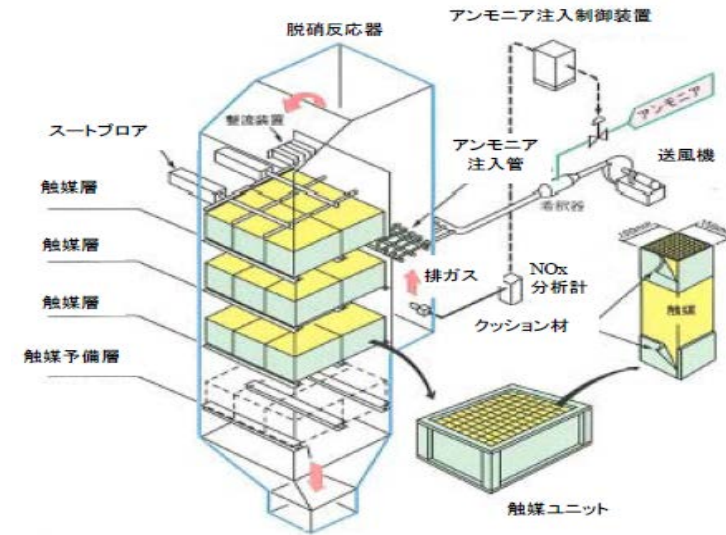
	事例 I	事例 II	事例 III
圧力損失	0.5~2 kPa	~100 mmWC	~100mmWC
ガス温度℃	≒350~400	300~550	180~550
脱硝率 %	<80 - 90	~95	~95
反応塔圧損	<60 mm WC		

16

排煙脱硝設備の代表的なプロセス構成

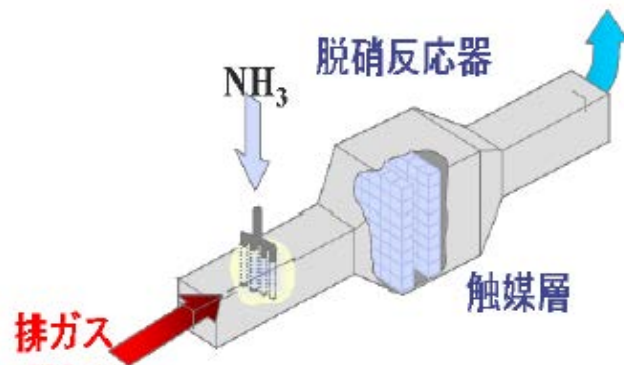


選択接触還元法脱硝 (KHI)



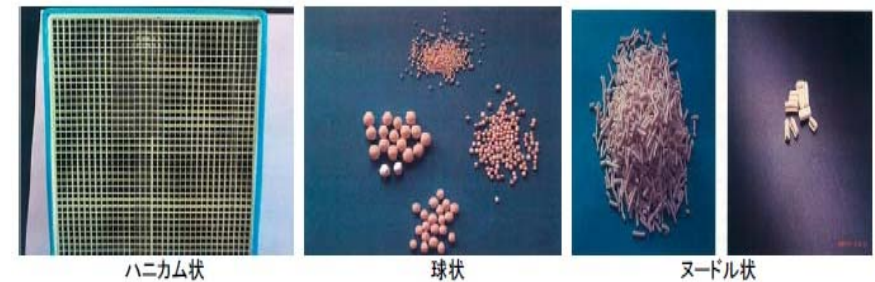
18

選択接触還元法脱硝 SCR (IHI)



19

各種形状の脱硝触媒 (堺化学)



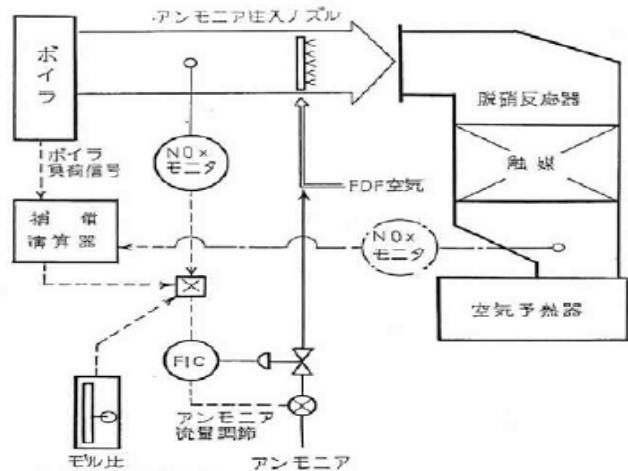
ハニカム状

球状

ヌードル状

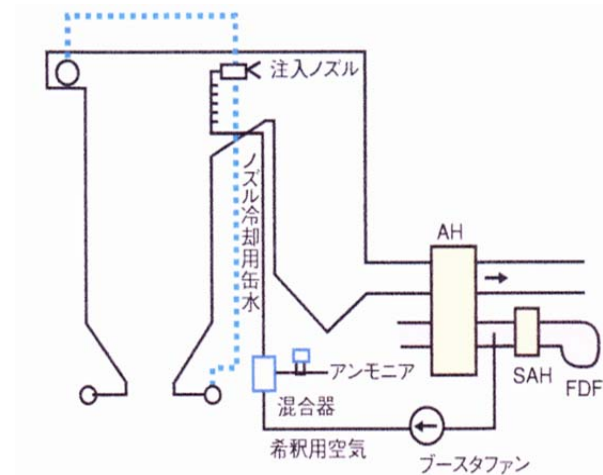
20

選択接触還元法脱硝制御事例



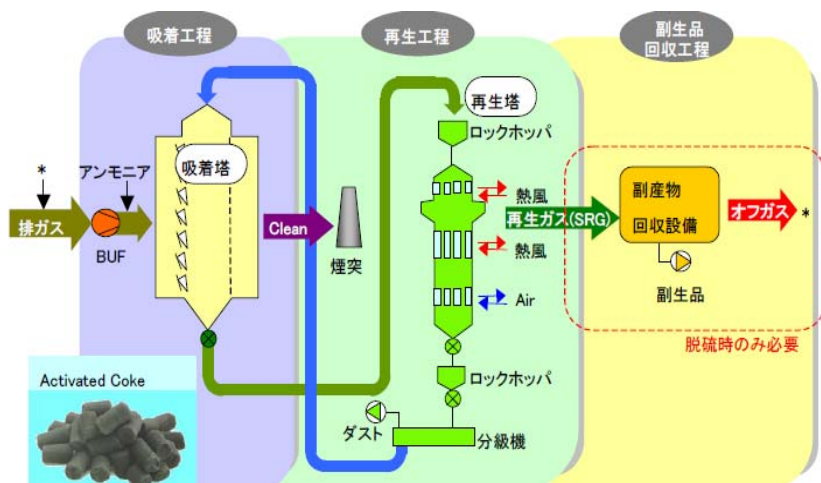
21

無触媒還元法 SNCR



22

活性炭吸着法排煙脱硝 (J-Power)



23

NOxの化学分析方法

分析方法の種類 ^o	定量範囲	vol ppm (mg/m ³) ^o	対象成分ガス ^o
Zn-NEDA 法 ^o	真空フラスコ法	1~50(2~100) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	5~250(10~510) ^o	
NEDA 法 ^o	真空フラスコ法	3~500(5~1000) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	7~1200(13~2500) ^o	
イオンクロマトグラフ 法 ^o	真空フラスコ法	4~1400(8~2800) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	20~7000(40~145000) ^o	
PDS 法 ^o	真空フラスコ法	10~300(20~620) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	12~4200(24~8400) ^o	
ザルツマン吸光光度法 ^o		5~200(10~400) ^o	NO ₂ ^o

24

連続分析法の自動計測器の種類と測定範囲

計測器の種類 ^①	測定範囲 ppm ^②	対象物質 ^③	適用条件 ^④
化学発光方式 ^⑤	0~10 ^⑥ 0~2000 ^⑦	NO ^⑧ NOx* ^{1⑨}	共存する CO ₂ の影響を無視できる場合又は影響を除去出来る場合に適用する ^⑩
赤外線吸収方式 ^⑪	0~19 ^⑫ 0~2000 ^⑬	NO ^⑭ NOx* ^{1⑮}	共存する CO ₂ 、SO ₂ 、水分、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を無視できる場合に適用する ^⑯
紫外線吸収方式 ^⑰	0~50 ^⑱ 0~2000 ^⑲	NO ^⑳ NO ₂ ^㉑ NOx* ^{2㉒}	共存する SO ₂ 、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を無視できる場合に適用する ^㉓

*¹ あらかじめ NO₂ を NO に変換して測定^⑳

*² NO と NO₂ のそれぞれの測定値の合量^㉑

工業用ボイラのNOx抑制対策について

2015年11月27日
北京凱迪克格蘭雲天大酒店
JICA専門家 藤井重雄

1

目次

1. 日本の工業用ボイラに関する情報
位置づけ・型式・特徴・設置状況など
2. NOx生成、抑制、脱硝技術に関する情報
排出基準・生成機構・削減対策など
3. 各種燃料別のボイラ事例等
ガス・石炭・油・廃棄物
4. NOx計測技術

2

1. 日本の工業用ボイラに関する情報

◆ 行政所掌区分

日本のボイラは、発電用/工業用の用途により、所掌官庁が異なる。法的規制、設計基準、構造材料、取扱資格、検査、整備管理等は、各々の定められた規則に準拠しなければならない。

	発電用ボイラ	工業用ボイラ
用途	事業用：一般電気事業者・卸電気事業者・特定電気事業者 自家発電用：自家消費電力用 (余剰電力は売電可能)	工業用：一般に発電に供しない製造業等の熱源、動力 業務用：冷暖房、厨房、病院等の業務用熱源用
所掌官庁	経済産業省	厚生労働省
適用規格等	電気事業法、技術基準、保安検査規定等	労働安全衛生法、ボイラ圧力容器安全規則等

◆ 環境保全面の基準

環境省の定める諸環境基準、自治体条例等

3

1. 日本の工業用ボイラに関する情報

工業用ボイラの型式

現在普及しているボイラ型式には区分により次の型式がある。

区分	型式
水管ボイラ	丸ボイラ
	水管ボイラ
水循環方式	自然循環式
	強制循環式
	貫流式
燃焼方式	バーナー(Burner)燃焼
	ストーカー(Stoker)燃焼
	流動層(FB)燃焼：1) 気泡流動層燃焼 (Bubbling-FBC)
	2) 循環流動層燃焼 (Circulation-FBC)
発生熱媒体	蒸気(飽和蒸気・過熱蒸気)
	温水(高温水・中温水)
	熱媒体油
特殊	廃熱回収
	鑄鉄製ボイラ(暖房用)

1. 日本の工業用ボイラに関する情報

工業用ボイラの特徴

工業用ボイラは発電事業用と比較して、仕様・機能等においてNOx対策技術を講じるにあたり考慮すべき点がある。

- ① 小中出力(1-100t/h)が占め、低圧、飽和蒸気が多い。
- ② 負荷変動が大きく、Turn Down比も1:5 と大きい。
- ③ 起動停止を頻繁に行うケースが多い。 DSS(Daily Start & Stop)
- ④ 多種の燃料との混焼が要求される。
 - 形状や発熱量などの燃料質の変動が大きく、追従性が必要である。
- ⑤ 運転員の技量が劣る。
 - 機能劣化の場合対応が困難となる。
- ⑥ NOx測定装置が装備されない事例が多い。
 - 常時監視が不可能となる

5

1. 日本の工業用ボイラに関する情報

日本における使用燃料別工業用ボイラ設置数

使用燃料	設置数	構成比 (%)
油	26,776	71.7
石炭	186	0.5
ガス	6,440	17.3
その他(廃棄物、副生物等)	3,926	10.5
計	37,325	

* 工業用では、油、石炭等の化石系燃料から、廃棄物系やバイオマス系が増加している。

* 業務用では石炭燃料の事例はない。

6

1. 日本の工業用ボイラに関する情報

工業用ボイラの型式別設置数(2012年12月現在)

型式	設置数	構成比 (%)
水管 自然循環式	3,145	11.1
強制循環式	198	0.7
貫流式	4,312	15.3
丸ボイラ (炉筒・煙管)	10,170	36.0
鑄鉄製組合式	3,148	11.1
その他	1,205	4.3
温水ボイラ	6,072	21.5
計	28,250	

本表は厚生労働省所掌ボイラの設置数を示す(出所:JBA)

* 小型ボイラは不含(法適用外)

* 業務用ボイラ含む

7

2. NOx生成、抑制、脱硝技術に関する情報

日本のNOx排出基準値

燃料・ボイラ形式	規模 万m ³ N/h (最大定格排ガス量)	On (%)	排出基準値 (ppm)
ガス専焼	>50		60
	10~50	5	100
低品位炭専焼 <20,930 kJ/kg 火炉分割壁、火炉熱発生率の制約有り	>70		200
	50~70	6	250
低品位炭専焼 <20,930 kJ/kg	>70		200
	30~70	6	250
石炭専焼 前面燃焼方式、自然循環型	20~25	6	250
石炭専焼 接線型チルチングバーナ	>100	6	200
石炭専焼 散布式ストーカ型	4~10	6	320
石炭専焼循環流動層ボイラ	0.5~4	6	350
固体燃焼循環流動層ボイラ	~4	6	350
固体燃焼	>70		200
	4~70	6	250
液体燃焼	1~50	4	150

8

2. NOx生成、抑制、脱硝技術に関する情報

工業用ボイラのNOx生成

工業用ボイラのNOx生成は、燃焼反応と燃焼場における高温燃焼ガスの挙動領域に限定される。

◆ Thermal NOx

- 燃焼機構: Zeldovich-NOx、Prompt-NOx
 - Burner燃焼 (火炎中)
 - Stoker燃焼 (火床層)
 - 流動層燃焼 (Free board・流動部)
 - 燃焼室 (過剰空気の未反応O₂との合成)

◆ Fuel NOx

燃料中に含有するN化合物の燃焼により生成

9

2. NOx生成、抑制、脱硝技術に関する情報

NOx生成の要因と削減対策

ボイラは燃焼熱⇒熱回収の熱機関(熱交換機)である。

◆ NOx削減対策を採るにあたっての前提条件

- 燃焼場である燃焼室容積が一定であるため、出力により燃焼熱負荷を制御できない。
- 負荷変動の追従は、燃料供給量・空気量による燃焼量制御を必要とする。

◆ 生成要因とNOx削減対策

上記のような特徴があるため、一般にボイラにおけるNOx生成の要因に対しては次の削減対策が採られる。

- 燃料の窒素含有(窒素酸化物) ⇒ N分の低い燃料の使用
- 燃焼域のO₂濃度 ⇒ 低空気比、濃度の低減化
- 火炎温度・火炉燃焼温度 ⇒ 低温化
- 高音域でのガス滞留時間 ⇒ 滞留時間の短縮化

10

3. 各種燃料別のボイラ事例等

石炭燃焼方式別NOx生成特性

燃焼形式	CFBC	BFC	Stoker	微粉炭(PC)
燃焼効率(%)	>98	95-98	92-97	97-99
ボイラ熱効率(%)	88-92	85-92	85-90	>90
適用炭種	幅広い炭種の整粒炭 他の可燃性固形物との混焼が可能	劣悪炭や湿分の多い汚泥等の廃棄物との混焼や専焼が可能	低品位炭～瀝青炭 燃焼比が2.5以下	適用広い 破碎性の確認が必要
Turn Down(%)	>65	50-60	>30	30-35
燃焼制御性	優	良	劣	優
NOx生成	低温燃焼 ↓ 生成抑制	低温燃焼 ↓ 生成抑制	燃料比や粒径に影響される。 局所燃焼に注意	バーナーで生成抑制が可能、火炉熱負荷に影響される。 一般には排煙脱硝が必要

3. 各種燃料別のボイラ事例等

微粉炭燃焼ボイラ

Mono-tube, 6MPa 520°C 150t/h



12

3. 各種燃料別のボイラ事例等

石炭燃焼缶のNOx発生抑制法の事例

方式	適用ボイラ	内容
低NOxバーナー	微粉炭焚きボイラ	混合促進型、緩慢燃焼、火炎分別、自己再循環型、予混合型などがある。メカニズムは火炎温度の低下、高温滞留時間の短縮、O ₂ 濃度の低下、還元作用、燃焼温度の均一化などにより発生を抑制する方式
二段燃焼	微粉炭焚きボイラ (混焼・大出力)	複数本のバーナーを上下二段に分けて装備し、一段目の空気比は0.8程度とする方法。一般的に多く採用されている。
空気予熱温度の低下	全ての形式	火炎及び燃焼場の雰囲気温度を低下させる。但し未燃分は増加する。
燃焼室熱負荷の低減	全ての形式	火炎・燃焼ガス温度・ガス滞留時間が生成に相關するため、熱負荷を低くする削減法。
炉内脱硝	全ての形式 (大出力)	生成したNOxを炉内で還元除去する方法。排ガス再循環+二段燃焼と組み合わせる方式。燃焼ゾーンの上に二次空気、還元用燃料、三次空気を多層的に吹き込む。

3. 各種燃料別のボイラ事例等

ガス焚自然循環水管ボイラ

Fuel : #13A Gen. cap =10t/h
Pnor= 2 MPa Saturated steam



15

3. 各種燃料別のボイラ事例等

ガス焚き貫流ボイラ

◆ 日本における導入の背景

日本の大都市圏では、NOx低減対策から燃料制限が施行されており、一般には重質油や石炭から都市ガス#13A等のガス燃料に転換されている。

◆ 事例

ボイラ形式	貫流式ボイラ (多缶設置方式)
燃料	#13Aガス (発熱量:46MJ/m ³)
定格熱効率	97%
NOx削減対策	低NOxバーナー装備
NOx排出濃度	30ppm (O ₂ =0%)

14

3. 各種燃料別のボイラ事例等

油焚きボイラ

◆ 日本の液体燃料の概要

	A重油	B重油	C重油
LHV MJ/kg	42.37	42.4	40.92
N %wt	0.03	0.18	0.29
S %wt	< 0.85	2.1	2.85
Ash %wt	< 0.05	< 0.05	—

◆ 低NOx対策

- ① 火炉構造設計の制約や低NOxバーナー、各種低O₂燃焼、排煙脱硝等の対策を必要とする。
- ② 常用の蒸気負荷に対して、一定以上の負荷率を保持運転するために、小出力のボイラを多数設置し、この台数制御により負荷応答を行い、1缶において生じる過剰空気や負荷変動による燃焼の不安定を緩和してNOx生成を抑制する

16

3. 各種燃料別のボイラ事例等

油焚き貫流ボイラ

Fuel: A 重油 Gen.cap= 2 t/h
Pnor=1MPa Saturated steam



17

3. 各種燃料別のボイラ事例等

流動層燃焼の特徴

工業用ボイラには流動層燃焼が普及しているが、**NOxやSOx排出抑制に優れた機能を有する。**

◆ 特徴

- 普及分野：BFBC—小出力、低品位燃料、DSSが容易
CFBC—大出力、均質高品位燃料、連続稼働
⇒ 小出力～中出力(1~300t/h)の広範な規模に適用可能
- 燃料：高水分、高灰分等の低品位可燃性固形燃料の燃焼が可能である。
例えば 汚泥、産業廃棄物、MSW、褐炭、粘結性炭など
- **低温燃焼**：900～1000℃の低温のためThermal **NOxの生成が少ない。**
⇒ 排煙脱硝不要
- **炉内脱硫**：炉内流動層に、脱硫剤を添加することで炉内脱硫が可能である。
⇒ 排煙脱硫の付設が不要

18

3. 各種燃料別のボイラ事例等

CFBCボイラの煤煙濃度値事例

事業所	燃料	煤塵 mg/m ³ N	SOx ppm	NOx ppm
A	Coal, Wood	< 20	< 100	< 120
B	RPF	< 40	< 50	< 200
C	RPF, Coal	< 30	< 50	< 150
D	Coal	< 50	< 100	< 100

* 測定値は日本の環境計量法規に基く条件で測定されたものである。

19

3. 各種燃料別のボイラ事例等

有機性可燃物燃焼ボイラの低NOx技術

Bio massや有機性可燃廃棄物は燃料として広く代替利用されている。低NOx対策は次の技術が導入されている。

- 低NOx燃焼：熱分解ガス化
低温燃焼(800～900℃)
低O₂燃焼
CFBC・BFBC
- 炉内脱硝 ……NH₃ 吹込、尿素吹込
- 排煙脱硝 ……SCR

20

3. 各種燃料別のボイラ事例等

バイオマス燃焼発電ボイラ

Fuel: Waste wood, RPF, RDF
Pnor = 3MPa 425 °C SH Steam



21

3. 各種燃料別のボイラ事例等

代表的な排煙脱硝

大分類	方式	備考
乾式	接触分解法	
	接触還元法	選択式・非選択式
	無触媒還元法	NH ₃ 注入、尿素、(HNCO) ₃
	電子線照射法	電子ビーム照射、ラジカル酸化
	炉内脱硝法	還元剤炉内吹込み
湿式	酸化吸収法	接触酸化、O ₃ 酸化
	酸化還元法	二酸化塩素-亜硫酸法
	等モル吸収法	

22

3. 各種燃料別のボイラ事例等

NO_x除去: 排煙脱硝

方式	方法	特徴
無触媒還元法 (SNCR) Selective Non-Catalytic Reduction	高温の排ガス中にNH ₃ ガスを注入し均一気相反応でNO _x をN ₂ に還元する方法 4NO+4NH ₃ +O ₂ →4N ₂ +6H ₂ O 6NO ₂ +8NH ₃ →7N ₂ +12H ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> 特別な反応装置が不要で構造が簡単 ガス圧損失や閉鎖がない 既設缶にもスペースがあれば装備可能 ガス温度に留意が必要
触媒還元法 (SCR) Selective Catalytic Reduction	排ガス中にNH ₃ を吹込み、触媒作用によりガス中のNO _x と反応させ、N ₂ とH ₂ Oに還元する方法	<ul style="list-style-type: none"> 80%以上の高い脱硝率 尿素・アンモニア水も利用 多様な燃焼ガスに適用可能 二次公害が発生しない 触媒に寿命がある
電子線照射法	排ガス中に電子線を照射して、OH、HO ₂ 、Oのラジカルや原子を生成させ、HNO ₃ 、NH ₄ NO ₃ (硝安)として捕集する方法	
液相酸化吸収法	強アルカリ性溶液中でKMnO ₄ を用いてNOを酸化吸収する	<ul style="list-style-type: none"> SO_xとの同時除去が可能 廃水処理を必要とするため維持管理費が高い

4. NO_x計測技術

NO_xの化学分析法

分析方法の種類 ^o	定量範囲	vol ppm (mg/m ³) ^o	対象成分ガス ^o
Zn-NEDA 法 ^o	真空フラスコ法	1~50(2~100) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	5~250(10~510) ^o	
NEDA 法 ^o	真空フラスコ法	3~500(5~1000) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	7~1200(13~2500) ^o	
イオンクロマトグラフ法 ^o	真空フラスコ法	4~1400(8~2800) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	20~7000(40~145000) ^o	
PDS 法 ^o	真空フラスコ法	10~300(20~620) ^o	NO + NO ₂ ^o
	注射筒法	12~4200(24~8400) ^o	
ザルツマン吸光光度法 ^o		5~200(10~400) ^o	NO ₂ ^o

24

4. NO_x計測技術

連続分析法の自動計測器の種類と測定範囲

計測器の種類	測定範囲 vol ppm	測定対象物質	適用条件
化学発光方式	0~10 0~2000	NO NO _x * ¹	共存する CO ₂ の影響を無視できる場合又は影響を除去出来る場合に適用する。
赤外線吸収方式	0~19 0~2000	NO NO _x * ¹	共存する CO ₂ 、SO ₂ 、水分、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を無視できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	0~50 0~2000	NO NO ₂ NO _x * ²	共存する SO ₂ 、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を無視できる場合に適用する。

*¹ あらかじめ NO₂ を NO に変換して測定

*² NO と NO₂ のそれぞれの測定値の含量

中華人民共和国

大気中の窒素酸化物総量抑制プロジェクト

プロジェクト全体概要

2016年1月27日 於 北京発展大廈

田畑 亨

(総括/大気汚染対策専門家)

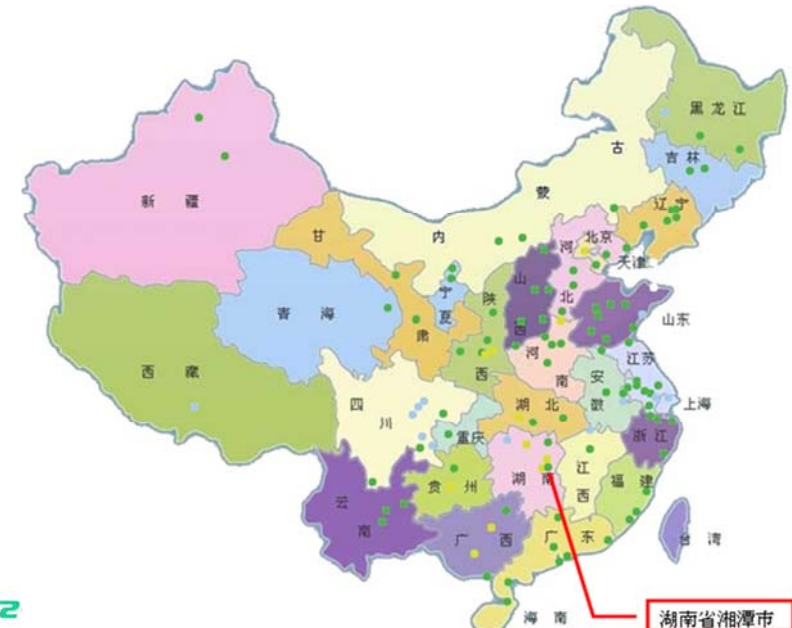
目次

1. プロジェクトの概要
2. NOx抑制技術に係るガイドライン作成と活用(活動1)
3. NOx抑制効果把握手法の改善(活動2)

1. プロジェクトの概要

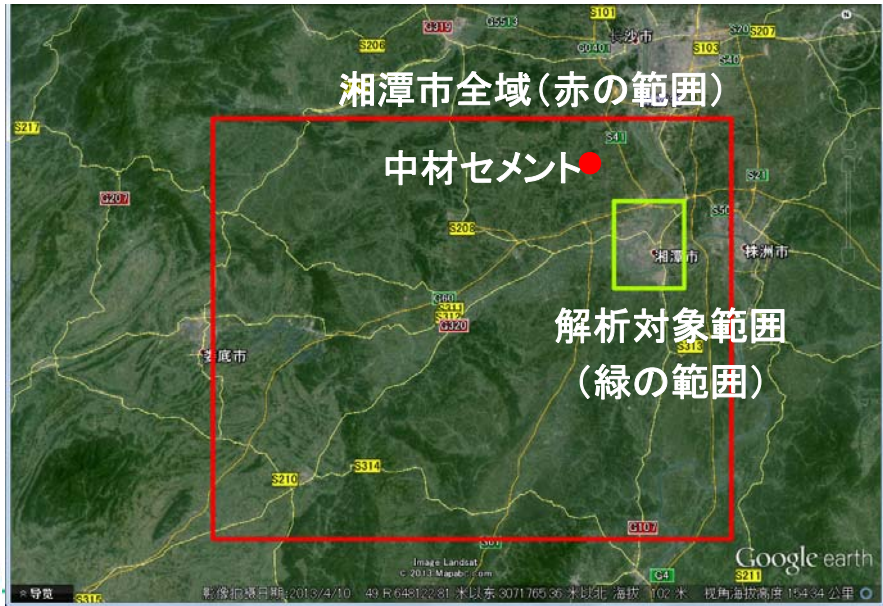
- プロジェクト目標
NOx抑制手法が改善される。
- プロジェクト期間
2013年3月～2016年3月
- 主要カウンターパート(C/P)
環境保護部汚染物質排出総量規制司大気処
環境保護部環境規画院
湖南省湘潭市環境保護局

プロジェクト対象地域:湖南省湘潭市



湖南省湘潭市

湘潭市全域



市街地 (前スライドの緑の範囲)



湘潭市の様子



湘潭市の工場群



プロジェクトの主要活動

■ 活動1

NOx抑制技術に係る技術ガイドラインを作成し、作成した技術ガイドラインが活用される。

湘潭市のモデル企業への対策提案。

■ 活動2

大気汚染物質拡散シミュレーションの実施を通じて、NOx抑制効果把握手法が改善される。

2. NOx抑制技術に係るガイドライン作成と活用：活動1

- ・湘潭市のモデル企業における対策検討
- ・EPC(設計、調達、建設)の準備段階における技術的アドバイス
- ・対象業種におけるNOx排出削減対策技術のまとめ
- ・専門家会合、技術交流会

環境保護部の評価会
↓
ガイドラインの最終稿作成(2015年10月)

中国企業へのガイドライン普及に向けて、環境保護部の正式出版物になることが期待されている

技術ガイドラインの対象業種、モデル企業

■ 対象業種

セメント
鉄鋼(仮焼炉、コークス炉)
石炭火力発電所
工業用ボイラ

■ 湘潭市のモデル企業への技術的アドバイス

中材セメント、湘潭鋼鉄：排ガス測定結果に基づく対策提案
電化廠(工業用ボイラ)：EPC準備段階でのアドバイス

湘潭市のモデル企業における対策検討

排ガス濃度・温度、流量、流速の追加測定・担当職員からの聞き取り等により、現状把握を行った。企業が導入を検討し易い省エネの視点も踏まえて課題を抽出し、風箱の組合せによるSOx排出濃度低減、排ガス循環によるNOx排出濃度低減など、中国の新しい排出基準の達成に向けた有効な対策案の検討を実施し、企業に提案した。



湘潭鋼鉄での排ガス測定



電化廠の新設工場計画図確認

ガイドライン充実化に向けた専門会合

セメント、鉄鋼焼結炉、工業用ボイラについて、中国側専門家を招聘し、中国における対策の現状やニーズについて協議を行い、理解を深めた。その協議結果をガイドラインに反映させた。

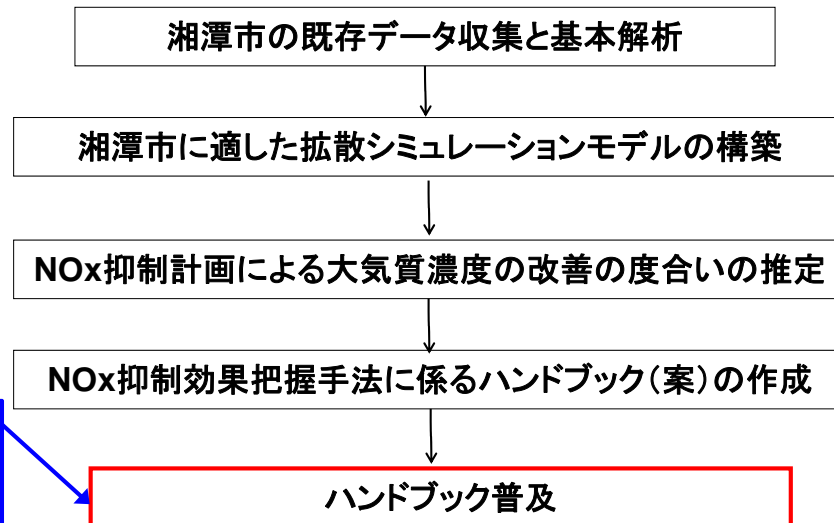


技術交流会

これまでの活動内容を周知し、中国のNOx抑制対策の現状や今後の対策計画について理解を深めた。また、世界で導入されている対策技術の紹介を行ったほか、今後の技術導入の参考となるよう日本企業が有するNOx抑制技術について、講演やブース展示を行った。



3. NOx抑制効果把握手法の改善:活動2

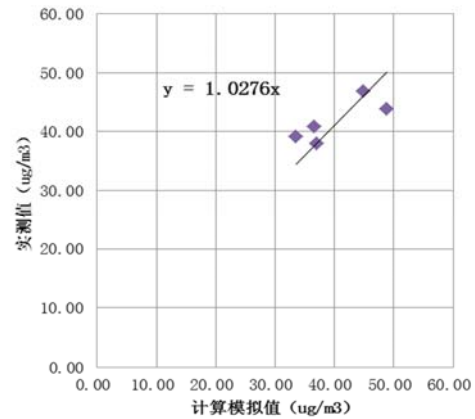
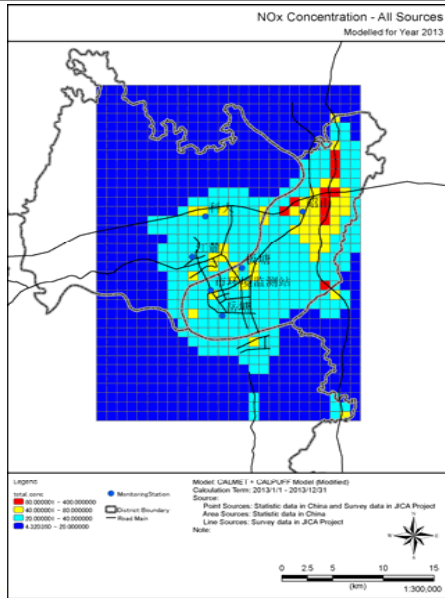


中国の地方政府に普及させることが必要

日本と中国の総量抑制に関する考え方の違い

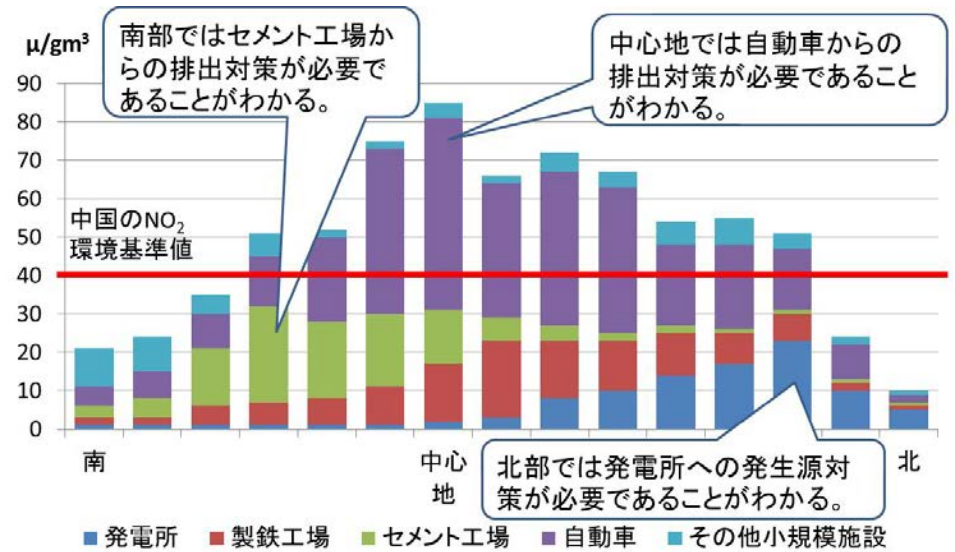
- 中国の総量抑制: 中央政府主導による規制
中国の総量抑制は、一律に排出量を削減する規制であり、対象都市での環境基準超過状況を見据えた規制ではない。
- 日本の総量規制: 地方自治体主導による規制
日本の総量規制は、対象都市で環境基準を達成するため、事業者の排出ガス量・原燃料の大きさに応じて、地方自治体が事業者毎に排出削減量を定めている。
⇒日本の総量規制方式による検討ができるように、湘潭市で拡散モデルを構築し、その成果をハンドブックにまとめた。

湘潭市での拡散シミュレーション結果



17/19

計算結果の利用例: 発生源別寄与濃度断面図(仮想)



jica -SUR-

18/19

ご静聴ありがとうございました

田畑 亨

19/19 413

中華人民共和国
大気中の窒素酸化物総量抑制プロジェクト
中国企業におけるケーススタディ

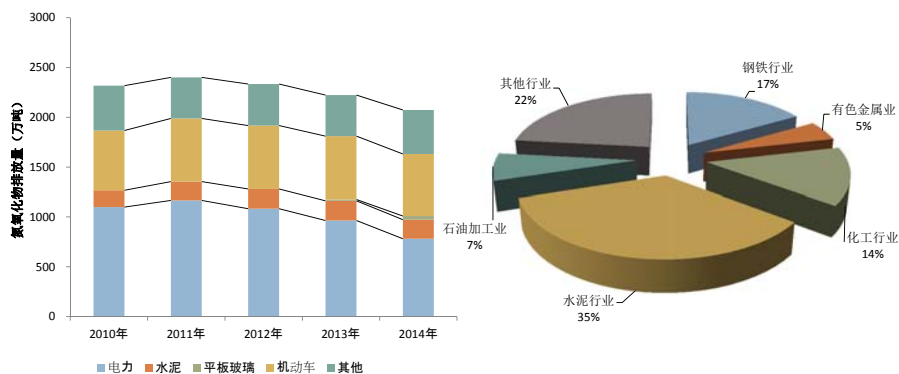
大気汚染対策補助担当 奥田綾子

目次

- 排出状況・削減目標
- 各産業の対策状況
- モニタリング
- ケーススタディ(概要・各企業での活動)
- 地方政府・企業の着眼点の変化

NOx排出状況

◆ 2014年 地級以上の都市(328市)におけるNO₂の年間平均濃度基準超過率は21.6%、同じくPM₁₀では68%、PM_{2.5}では89%となった。



NOx削減目標

◆ 第12次五カ年計画にて新たに削減対象物質として追加され、2010年排出量より10%低減させる目標が設定された。第13次五カ年計画でも削減対象物質とされる。

◆ 各産業における排出基準

対象	排出基準 (mg/m ³)	施行	基準番号
セメントキルン	400 (300)	2015.7~	GB4915-2013
鉄鋼焼結	300 (300)	2015.1~	GB28662-2012
石炭火力発電	100 (100)	2014.7~	GB13223-2011
工業用ボイラ	300 (200)	2015.10~	GB13271-2014

* 地方企業への徹底は時間差あり
* NOx以外の物質への対応優先

各産業別の対策状況

- ◆ 電力
 - 全国累計7.5億kW脱硝改造済み(内、石炭火力は87%)
 - 平均脱硝率は64%
- ◆ セメント
 - 全国総生産量の83%を占める生産工場が多段燃焼やSNCRの対策
 - * 多くが試運転段階、実質的な排出量削減には繋がっていない?
- ◆ 鉄鋼(焼結)
 - これまでNOx排出源として重要視されてこなかったため、測定・統計作業が徹底されていない。対策もほとんどなし。
- ◆ 工業用ボイラ(小型発電)
 - 小型廃止・大規模への集約、燃焼技術の改善、燃料の改善など
 - * 地方ではほぼ未着手?

5

モニタリング

- ◆ いずれのモデル企業でも主要箇所に湖南省環境保護庁が測定設備を設置 → 常時湘潭市環境保護局へ送信
- ◆ 測定設備は湖南省環境保護庁実施の入札により決定
校正は業者により数年に一度(精度は…?)
- ◆ 企業は政府の測定結果を信頼してはいないが、自身は測定設備などは有していない(導入する気もあまりない)
→ 本当の排出状況を知らなくても、市へのデータ提出がクリアしていればOK

信頼性の高い機材・手法で測定し、状況を把握する

6

ケーススタディ概要

- ◆ 目的: 生産現場における課題の抽出、適正な対策の導入促進、成果のNOx抑制技術ガイドラインへの反映
- ◆ 対象: 湖南省湘潭市内企業3社(セメント、製鉄、二酸化マンガン)
- ◆ 活動内容: 生産状況及び排出状況の把握(測定)、抑制対策の提案、仕様書作成指導、試運転時のアドバイス



モデル企業での活動

◆ 中材セメント湘潭有限責任公司(セメント)

- ・生産能力: 5000t/日(クリンカ) 300万t/年(セメント)
- ・脱硝設備(NSP)を中国セメント業界で初めて導入、排出ガスのSNCR脱硝 → 多量のアンモニア吹き付けで基準クリア

- ・仮焼炉内の温度調整
- ・アンモニア噴きつけノズルの改善
- ・高温部位の保温・断熱

など





9

◆ 湖南華菱湘潭鋼鐵有限公司(焼結)

- ・湘潭市内最大の大气汚染物質排出企業
- ・生産能力: 600万t/年鉄鋼 500t/h (焼結鉱/台) × 2基
- ・NOx対策は未実施、NOxよりもSOxに喫緊の課題あり

- ・風箱の切り替え調整
- ・排ガス循環
- ・漏風対策
- ・廃熱回収ボイラ など



10



417

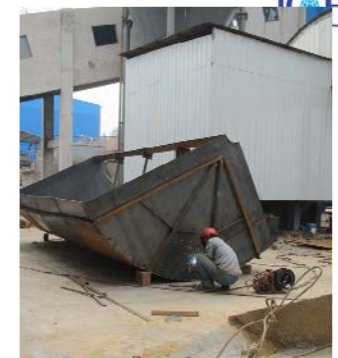
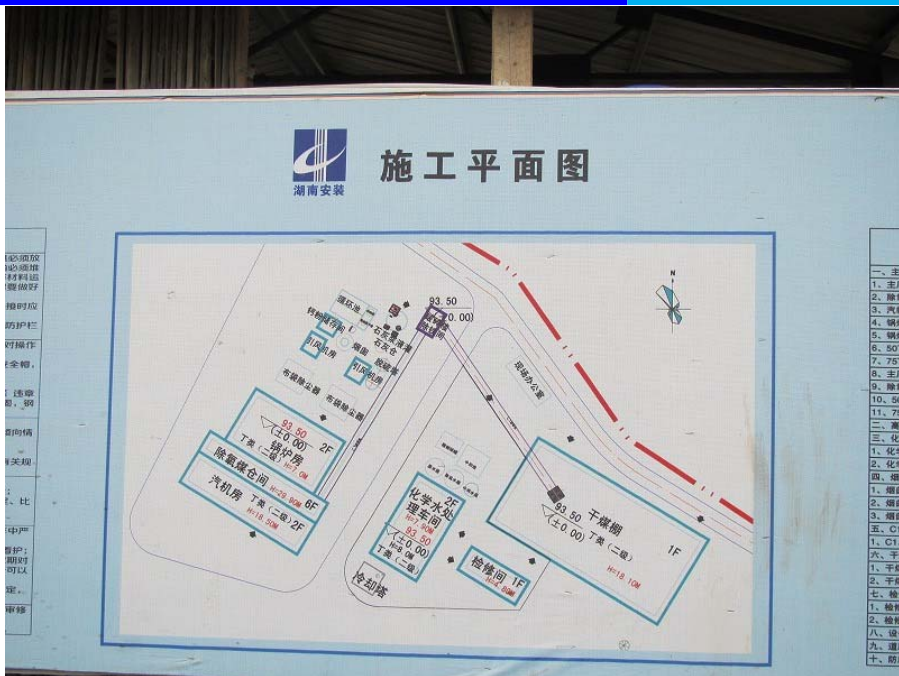
◆ 湘潭電化科技股份有限公司(工業用ボイラ)

- ・二酸化マンガン製造
- ・郊外へ工場移転に伴い、ボイラも移転・新設
- ・移転に伴う環境アセスメントにより、循環流動床ボイラ及び脱硝対策設備の導入が義務化
- ・移設工事中(約半年)で新設ボイラ及び脱硝設備の入札～試運転～稼動を終える

- ・脱硝脱硫対策の紹介
- ・仕様書作成補助
- ・試運転時のチェックポイント
- ・電気系統の省エネ
- ・燃料炭の再考



12



2.プロジェクト概況及び入札範囲



2.1 プロジェクト名称: 湘潭電化科技股份有限公司熱電ステーションの全体移設プロジェクト

2.2 工事場所: 湘潭市雨湖区鶴嶺鎮

2.3 規模: 湘潭電化科技股份有限公司熱電ステーションの全体移設を含むプロジェクト。本プロジェクトの入札金額は約1000万元であり、次の内容が含まれる。

- (1) 済南ボイラグループ有限公司製75トン循環流動層ボイラ及びその補機の移設(2015年に施工予定)
- (2) 済南ボイラグループ有限公司華源会社が改造した50トン循環流動床ボイラ及びその補機の移設(2014年12月10日までに試運転条件が整う)
- (3) 青島捷能蒸気タービングループ股份有限公司製7.5Mw 背圧タービン(backpressure turbine)発電ユニットの移設(2014年12月15日までに試運転条件が整う)
- (4) 脱塩水ポンプ(demineralized water pump)及びパイプ
- (5) 給水ポンプ及び主給水管路

17

- (6) 貯炭場(天井クレーンは製造業者の責任で設置);
- (7) ベルトコンベヤーギャラリースystem (Coal Belt Conveyor Gallery System)(ベルトコンベヤーは製造業者の責任で設置);
- (8) 水処理システム(システム内部は製造業者の責任で設置)
- (9) DCSシステム
- (10) 発電所低圧電源システム
- (11) 主蒸気管
- (12) 炉内脱硫システム(システム内部は製造業者の責任で設置)
- (13) 炉外脱硫システム(システム内部は製造業者の責任で設置)
- (14) 点火オイルシステム
- (15) 空気コンベヤシステム
- (16) 発電所循環水システム(システム内部は製造業者の責任で設置)
- (17) 甲手配の臨時的作業等

2.4 施工期間に関する要求: 施工期間は130日(歴日)とする(75トンボイラ移設を含まない。当該部分は2015年に行う予定)。そのうち、50トン循環流動床ボイラの施工期間は水圧テストに至るまでの必要日数を60日とする。応札者は自分の施工における長所に基づき、施工期間を繰り上げ、かつ、自ら施工期間を申し込むことができる。

18



地方政府・企業の環境保全対策に対する着眼点の変化

- 既存の設備を活用した対策優先
- 末端処理のみではなく、プロセス改善や燃料改善への注目
- 計測/数値把握の重要性認識
- 省エネ対策への注目
- 企業自身の技術に対する研究分析の必要性

19

NO_x排出総量抑制対策

石炭工業用ボイラ
石炭火力用ボイラ
セメント業(クリンカ焼成炉)
鉄鋼コークス炉

2016年1月27日/日本商会・JICA共催セミナー

JICAプロジェクト 低NO_x燃焼・脱硝技術担当
藤井 重雄

1

はじめに

- 人類の活動に起因する大気環境負荷の多くは、いろいろな形の燃焼というプロセスにより生じるものが多い。
とりわけ産業活動に欠かせない熱エネルギーの源泉は石炭に代表される有機性可燃物を燃料とする燃焼である。
- 燃焼のもたらす効用の半面、煤塵、硫酸化物、窒素酸化物、塩化水素、水銀等の重金属類、Dx_n類などの排出や生成があり、これらは大気汚染物として、地域や地球圏に拡散し、生態系の環境劣化をもたらしている。
- 健全な産業活動(企業経営)は、大気汚染負荷の低減努力を怠って、持続的な成長は約束されない。汚染対策費の製品内部化努力は企業経営の第一条件である。
- 茲ではJICA活動で対象としたボイラ分野等の窒素酸化物の排出抑制に焦点を当て代表的な対策技術について述べる。

2

窒素酸化物NO_xの発生機構

- ◆ 燃焼によるNO_x生成は燃焼反応と燃焼場における高温燃焼ガスの挙動領域におけるものがある
- ◆ Thermal NO_x
 - 燃焼機構: Zeldovich-NO_x、Prompt-NO_x
 - Burner燃焼(火炎中) Stoker燃焼(火床層)
 - 流動層燃焼(Free board・流動部)
 - 燃焼室(過剰空気の未反応O₂との合成)
- ◆ Fuel NO_x

燃料中に含有するN化合物の燃焼により生成する

3

窒素酸化物(NO_x)抑制対策

- ◆ 生成量の抑制
 - ① 燃料由来のNOの低減→低N分燃料転換
 - ② 燃焼条件の改善、燃焼方式の転換
→低温度化・低O₂・滞留時間
- ◆ 排煙脱硝・・・排ガス中のNO_xの還元除去等
 - ① 選択接触還元法
 - ② 無触媒還元法
 - ③ 活性炭吸着法

4

燃焼場における生成抑制について

◆ 小出力石炭ボイラに普及しているStoker燃焼ボイラでは、燃焼場におけるNO_x抑制対策の課題が多い。

燃焼機構改善面で、空気比・制御性・燃焼温度等の制約がある。

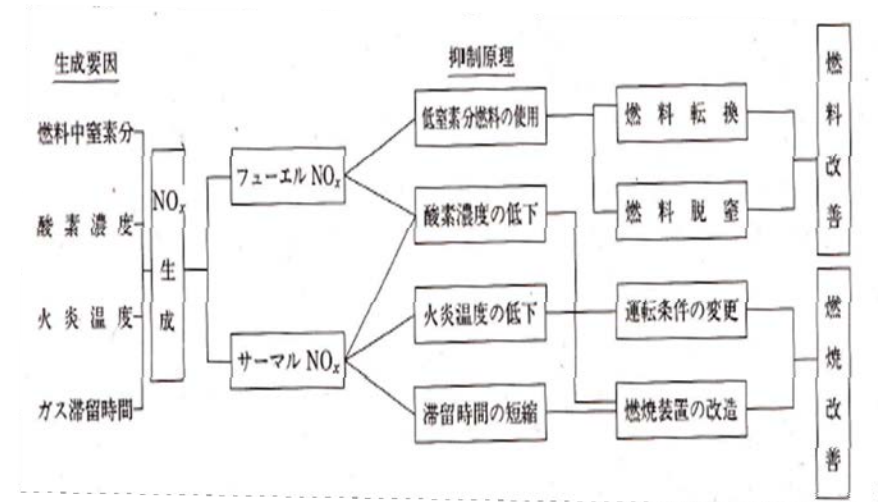
→排煙脱硝方式を適用

◆ 推奨先端技術→流動層燃焼方式(CFBC & BFBC)

- ① 内部脱硫が可能である
- ② 低貧位炭の使用が可能である
- ③ 低温燃焼のためThermal NO_xの生成が少ない
- ④ バイオマスや汚泥等産業廃棄物との混焼が可能である
- ⑤ 燃焼効率が低い

5

NO_x生成抑制技術



6

石炭工業用ボイラの低NO_x燃焼

燃焼場の生成抑制

方式	適用ボイラ	内容
低NO _x /バーナー	微粉炭焚きボイラ	混合促進型、緩慢燃焼、火炎分別、自己再循環型、予混合型などがある。メカニズムは火炎温度の低下、高温滞留時間の短縮、O ₂ 濃度の低下、還元作用、燃焼温度の均一化などにより発生を抑制する方式
二段燃焼	微粉炭焚きボイラ(混焼・大出力)	複数本のバーナーを上下二段に分けて装備し、一段目の空気比は0.8程度とする方法。一般的に多く採用されている。
空気予熱温度の低下	全ての形式	火炎及び燃焼場の雰囲気温度を低下させる。但し未燃分は増加する。
燃焼室熱負荷の低減	全ての形式	火炎・燃焼ガス温度・ガス滞留時間が生成に相関するため、熱負荷を低くする削減法。
炉内脱硝	全ての形式(大出力)	生成したNO _x を炉内で還元除去する方法。排ガス再循環+二段燃焼と組み合わせる方式。燃焼ゾーンの上に二次空気、還元用燃料、三次空気を多層的に吹き込む。

7

排煙脱硝技術

代表的な排煙脱硝

大分類	方式	備考
乾式	接触分解法	
	接触還元法	選択式・非選択式
	無触媒還元法	NH ₃ 注入、尿素、(HNCO) ₃
	電子線照射法	電子ビーム照射、ラジカル酸化
	炉内脱硝法	還元剤炉内吹込み
湿式	酸化吸収法	接触酸化、O ₃ 酸化
	酸化還元法	二酸化塩素-亜硫酸法
	等モル吸収法	

8

石炭火力ボイラ

◆ 火力用ボイラが工業用ボイラと異なる一般的特性

- 出力規模が大きく、蒸気条件は高温高压仕様
- 公益性の関係で、連続運転・高信頼性が要求される。
- 経済性・・・高効率・低維持管理費

◆ NOx排出抑制対策

基本的に工業用ボイラと同様の生成抑制と排煙脱硝の対策を講じる

既設ボイラ

- ① 低NOx燃焼方式への改善+低N炭転換
- ② 排煙脱硝
- ③ 省エネ対策・・・排熱回収・放熱損失の削減→総量削減
- ④ 管理計器の装備

新設ボイラ(自家用火力 中規模 >30t steam/h)

- ① 循環流動層燃焼方式の導入
- ② 高熱効率ボイラの導入

9

セメント業 クリンカ焼成炉

◆ NOx成過程→ 燃焼によるNOx生成は燃焼反応と燃焼場における高温燃焼ガスの挙動領域におけるものがある

- クリンカ焼成用キルンの燃焼室とキルン内部
- 仮焼炉を設置している場合はFuel NOxが支配的

◆ 排出低減対策

- ① 生成抑制： 低N炭・燃焼温度・O₂濃度・滞留時間
- ② 排煙脱硝： 無触媒脱硝法
- ③ 焼成プロセスの改善： 仮焼炉による二段焼成法
- ④ 運転管理面： AQCを含めた排ガスの循環量制御、空気比、温度管理

△ 省エネは排出総量削減の最大の効果と経済効果がある

10

既設の焼成炉における改善について

◆ 脱硝剤吹込装置の設置の留意点

- ① 吹込個所の事前調査
ガス温度・ガス圧力・ダスト濃度・ガス通過断面&形状・偏流
- ② ノズルの噴射機能
噴射圧力・制御特性・噴射角度・有効到達距離・耐用性
- ③ 脱硝剤濃度センサー&管理計器
- ④ 注入量制御特性
- ⑤ 低NOxバーナ設置
炭質の確認(N分)・粒径分布・火炉の形状・火炎形状
燃焼用空気(風圧・温度・再循環量・O₂濃度など)

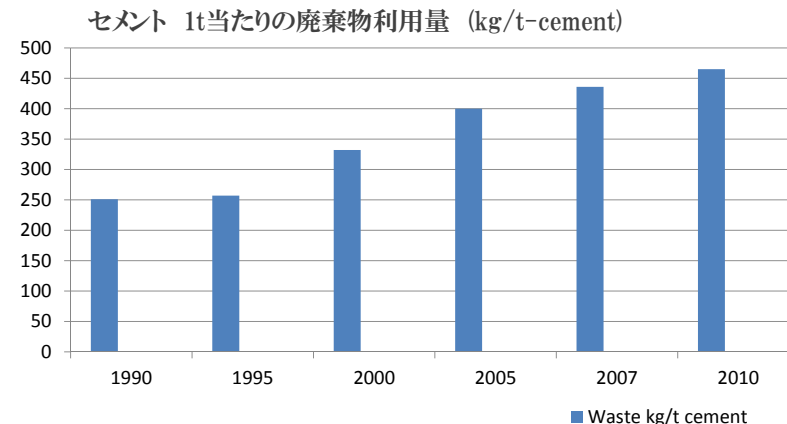
◆ NSPに改造していない焼成炉では、NOx生成源であるキルンの熱負荷低減のため改造を推奨する

11

セメント業における廃棄物の適正処理とリサイクル

◆ 廃棄物の利用

廃棄物の適正処理と原料・燃料として再生利用が図れる複合メリット効果があり、日本ではセメントビジネスの重要な方策である。化石燃料消費の削減はNOx排出量削減等の環境保全効果も生じる。



12

モデル企業(中材湘潭セメント)での活動

課題①：石炭炭質の管理強化

対策：NSP方式では石炭中のN分に起因するFuel NO_xによる影響が大きく、燃料の定期的なN分測定の履行が好ましい。また可能な場合には石炭購入時の条件の再設定を行う。

課題②：仮焼炉内部の温度が高く、本来の仕組みによるメリット（仮焼炉とキルンによる段階的な燃焼）が発揮されておらず、NO_xが生成されやすい温度域を呈している。

対策：仮焼炉内の空気量の調整による改善が可能である。しかし、製品品質への影響や運転員の制御技術レベルを考慮する必要がある。更に温度管理の精度向上のために測定点数、測定位置、測定端子等の見直しが有効である。

課題③：キルンの燃焼管理強化

対策：キルン出口のガス温度、空気比の常時モニタリング、燃焼自動制御装置（ACC）の感度監視と制御性の改善を行う必要がある。

13



15

モデル企業(中材湘潭セメント)での活動

課題④：SNCRにおけるアンモニア注入の改善

対策：排ガスNO_x濃度に応じた時定数変更や噴霧圧力、注入ノズルの数量変更、噴霧位置、噴霧アシスト流体の変更により効果的なガス反応への改善が可能となる。改善時には納入設備の噴霧特性の確認、メーカーの技術的性能保証の義務付けが必要である。また、注入ノズルの材質検討による耐用性の向上や、定期的に自動引き抜きクリーニングを行うなどの性能低下の防止に努める必要がある。

課題⑤：省エネによる改善

対策：本プロジェクト活動では高温部の断熱と保温について検討を行った。仮焼炉表面や循環ガスダクトなどの高温部に対して、断熱・保温効果の高い材料を用い、定期修理時等に施工を行う。

14

鉄鋼コークス炉

- ◆ 各国における鉄鋼業は基幹産業であり、国防・経済面における情報公開が制約されている場合が多い。本JICA活動においても、同様に現状把握や技術支援が実行出来なかった
- ◆ 日本の鉄鋼生産一貫工程では、コークス炉排ガスは、コークス工程で利用や処理せず、高炉や所内の他の炉と集約して循環・混合して発電・熱利用されてあと一括浄化されている
- ◆ 日本では国家開発事業として世界最高水準に値する次世代コークス製造技術SCORP21が実行され、NO_x濃度100ppm以下が可能とされている。
- ◆ 多数の技術特許が取得されており、導入に関心ある企業は、ビジネスレベルでの導入可否について、個々に条件を提示して日本石炭利用総合センター・鉄鋼連盟等に問合せ下さい。

16

参考：先端NOx排出抑制技術を有する日本企業

技術分野	技術所有メーカー	型式・商品名
低NOxバーナー	IHI	二段燃焼バーナー
	MHI	濃淡燃焼バーナーほか
	中外炉	二段燃焼バーナー
	日立	NRバーナー
排煙脱硝	太平洋エンジニアリング	4Cキルンバーナー
	カワサキプラントシステム IHI 倉敷紡績ほか多数	選択接触還元法
	MHIほか多数	無触媒還元法
石炭焚き流動層ボイラ	IHI	CFBC & BFBC
	荏原	CFBC & BFBC
	タクマ	CFBC & BFBC
	MHI・JFEほか多数	CFBC & BFBC
セメント業－廃棄物処理	太平洋セメントほか	有機/無機系含む

17

参考：先端NOx排出抑制技術を有する日本企業

技術分野	技術所有企業	製品・技術等
脱硝触媒	日立造船(上海) 日揮触媒化成 堺化学 日本触媒 九電産業	ハニカム型ほか各種触媒
排煙脱硝 エンジニアリング	日揮 カワサキプラント(上海) MHI(北京) J-Power En tech 太平洋エンジニアリング 三菱マテリアル ほか多数	脱硝エンジニアリング (NSP方式など)
管理計器	堀場製作所 島津製作所 富士電機システムズ アナテック	各種計測機器

18

JICA事業を通して 中国のNOx排出抑制対策の課題

- ◆ 企業活動における環境対策投資の軽視・・・費用の内部化が図られない傾向が強い
- ◆ 産業分野により、先進大気汚染技術のノウハウの情報公開がされていない。そのため産業間の較差が大きい。
- ◆ 燃焼や排煙脱硝の先端技術に対する技術料の価値が認められていない。日本では企業の貴重な知的財産である。
- ◆ 設備本体設計社とエンジニアリング業の分離したプラント市場である。性能や機能、保全等の責任の所在が明確でない。
- ◆ 環境装置メーカーの市場活動が低調である。
固有技術開発や提携技術導入などの開発投資の促進が望まれる。環境保全効果は装置メーカーが担う。
- ◆ 石炭市場と環境保全の施策において連係が弱い
- ◆ 省エネ対策と計測監視の効果が軽視されている

19

最後に

人類の生存には、「安全な水」「清浄な空気」「十分な食糧」が欠かせない環境資源です。地球環境保全に向け、引き続き企業の皆様からのご協力をよろしくお願い申し上げます。

2016年1月
JICA専門家

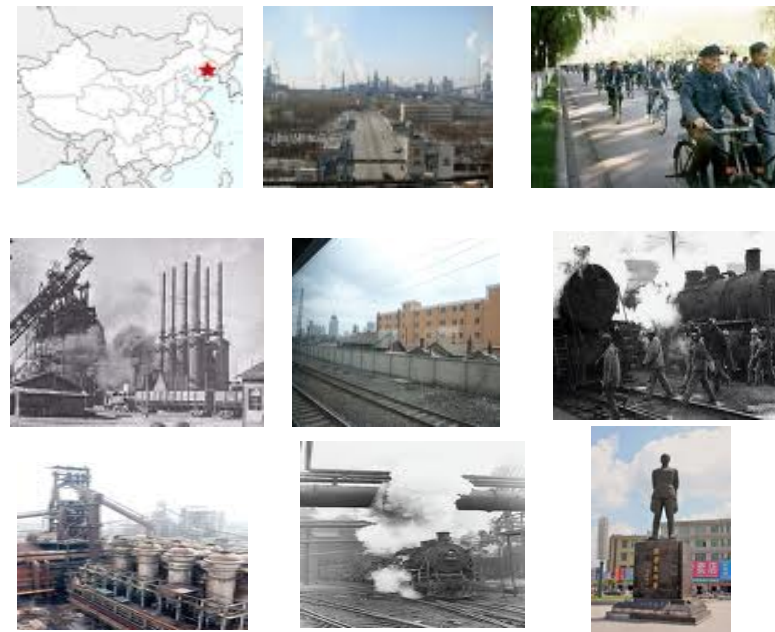
20

中国日本商会・JICA(国際協力機構)共催セミナー
中国の企業における大気汚染対策の状況

中国企業におけるケーススタディ
湖南華菱鋼鉄有限公司
焼結機におけるNO_x抑制対策の
検討・導入について

2016年1月27日
北京発展大厦
JICAプロジェクト 低NO_x燃焼・脱硝技術担当
富田 武

1



2



1985年ホテル前

1985年鞍山静電技術研究院 3

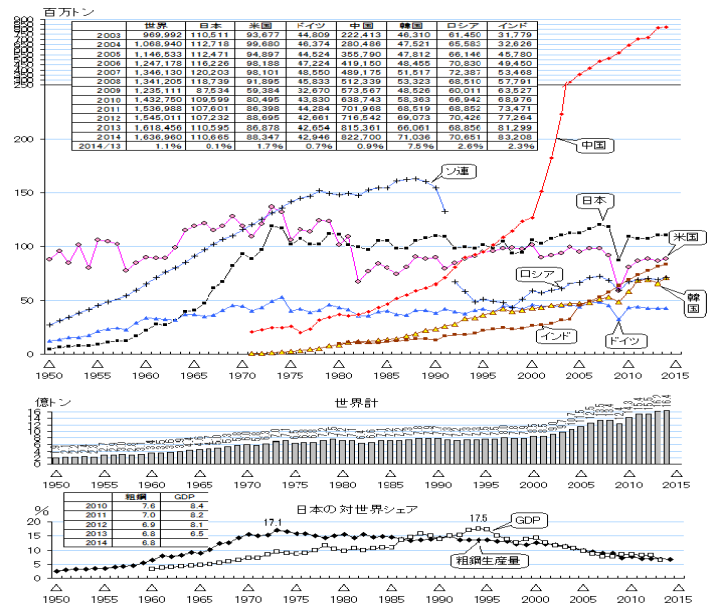
目次

- ◆ 1. 中国の鉄鋼業の概況
- ◆ 2. NO_x抑制モデル企業
湖南華菱鋼鉄有限公司へのアプローチ
- ◆ 3. JICAの提案ステップ
- ◆ 4. 現状把握
- ◆ 5. JICA専門家提案の排ガス循環Case 1
- ◆ 6. 湖南華菱鋼鉄有限公司&JICAとの協働による成果
- ◆ 7. モデル企業でのPJ推進のKey Words

4

1.中国の鉄鋼業の概況

世界と日本の粗鋼生産量の長期推移



5

世界の鉄鋼メーカーの生産量 (世界鉄鋼協会)

(単位 100万トン)

2014年順位	メーカー名	国	粗鋼生産量	2013年順位
1	アルセロール・ミタル	ルクセンブルグ	98.1	1
2	新日鉄住金	日本	49.3	2
3	河北鋼鉄集団	中国	47.1	3
4	宝鋼集団	中国	43.4	4
5	POSCO	韓国	41.4	6
6	江蘇沙鋼鉄集団	中国	35.3	7
7	鞍山鋼鉄集団	中国	34.4	8
8	武漢鋼鉄集団	中国	33.1	5
9	JFE	JFE	31.4	10
10	首鋼集団	中国	30.8	9
24	湖南華菱集団	中国	15.4	23

上位10社中6社、20位中10社が中国メーカー
湖南華菱集団(：湖南華菱鋼鉄有限公司を含む)

(出典：世界鉄鋼協会資料より作成) 6

◆ 中国の粗鋼生産量:

○2014年は前年比1.2%増 予想伸び率3%を下回った。
1.2%増は1982年以来最も低い水準

○世界全体(16.6億トン-5年連続で過去最高)のシェア50%
2002年1.82億トン 2010年6.28億トン 2014年8.2億トン

◆ 事業環境:

○厳しい環境
従来型の生産規模拡大、価格競争による発展モデル(粗放型発展)から転換が必要。2014年、粗鋼内需過去30年で初の前年割れ(前年比 4.3%減)。設備稼働率70.9%

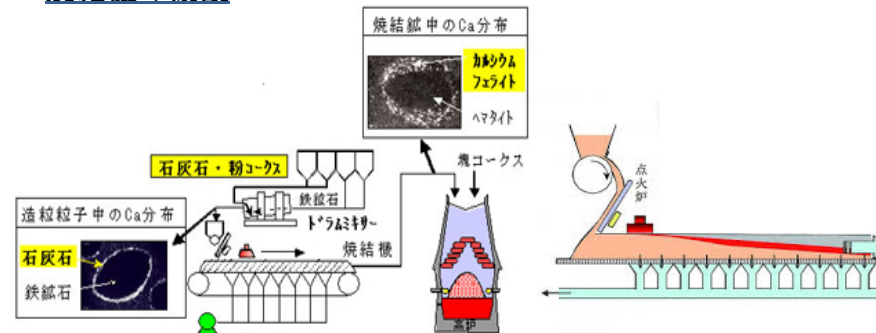
○製品の高付加価値化、統合・再編の促進、海外進出による新たな発展モデル(質的発展)へ

○環境規制・省エネへの対応: NOx対策他
新環境法(2015.1.1施行)

(出展：日中経済産業白書 2014/2015 日中経済協会 より引用)

7

焼結機の概観



(出展:JFEスチール社資料より)

8



2. NOx抑制モデル企業 湖南華菱鋼鐵有限公司へのアプローチ

★協同ワークの相互再確認

⇒PJの目的に対して**中方のニーズと日方の目的が合致しているか?**

★PJ参加によるメリットを引き出すために

⇒日方から**有用な情報が得られる**ことを示唆する

⇒焼結機の直面の**課題を顕在化**させるための情報提供と意見交流

⇒**(中方)得られるメリットあり**

具体的方策:

『世界における焼結機のNOx抑制技術のについて--資料作成提供』

『日本にお焼結機の窒素酸化物の低減技術について--資料作成報告』

&アプローチの考え方、基本的考え方・視点

★焼結機の現状把握で**解決課題を明確化**

⇒NOxMap作成が絶対不可欠

=**データに基づく現状把握と課題共有化**

10

活動プロセス

★日方主体での焼結機のWBでの排ガス測定実施(2014年3月&6月)

⇒NOx-Map作成実現⇒**データに基づき検討・協働が可能に**

★NOx-Mapで解決課題が見えてきた

⇒『**新2号焼結機向けNOx低減技術検討報告書**』作成し、**提言(2014年9月)**

原料管理、操業管理、排煙処理、省エネの総合的視点から、総合的なNOx低減対策を提案

⇒**報告書を踏まえ中方で望ましい対策を検討、評価実施へ**

11

★喫緊の課題が浮上

新2号焼結機#2ラインのSOxが新規制値(200mg/m^{2015年1月1日}執行)をオーバ。2015年1月1日までに解決が必要判明

⇒日方より、SOx、NOx新規制値クリアの対策を提案

(シミュレーション実施報告書提出)

⇒**中方実機実験12月実施しSOxの目標達成確認**

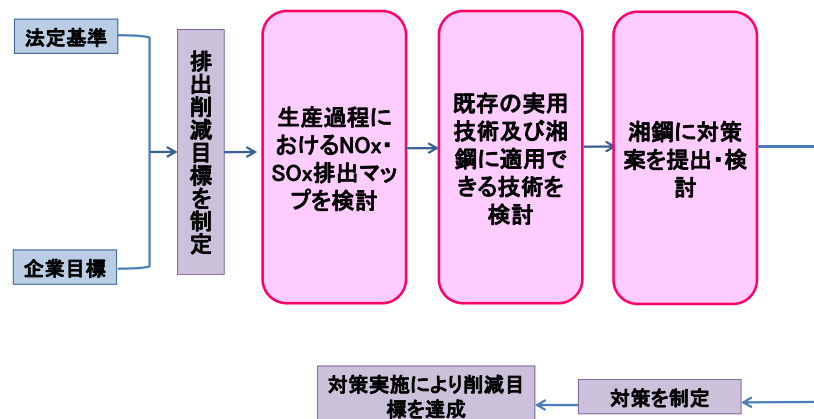
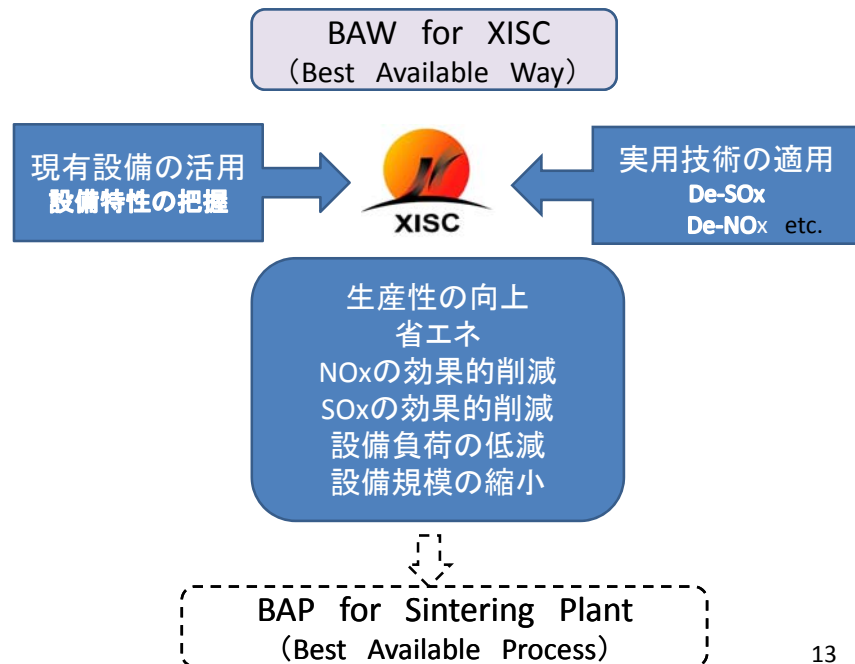
⇒論文発表/成果の積み上げ効果による日方への信頼度向上

★日方提案の検討書に基づき中国焼結機メーカー2社へ基本計画を依頼し、導入対策を計画

計画仕様: 大気放出濃度 NOx:200(mg/m³) SOx:200(mg/m³)

NOx-排ガス循環方法、SOx-選択的濃縮処理方法

12



(出展:2015.11.27北京WSプレゼン資料“鉄鋼焼結機におけるNOx・SOx抑制対策—湖南華菱湘潭鉄鋼有限公司)

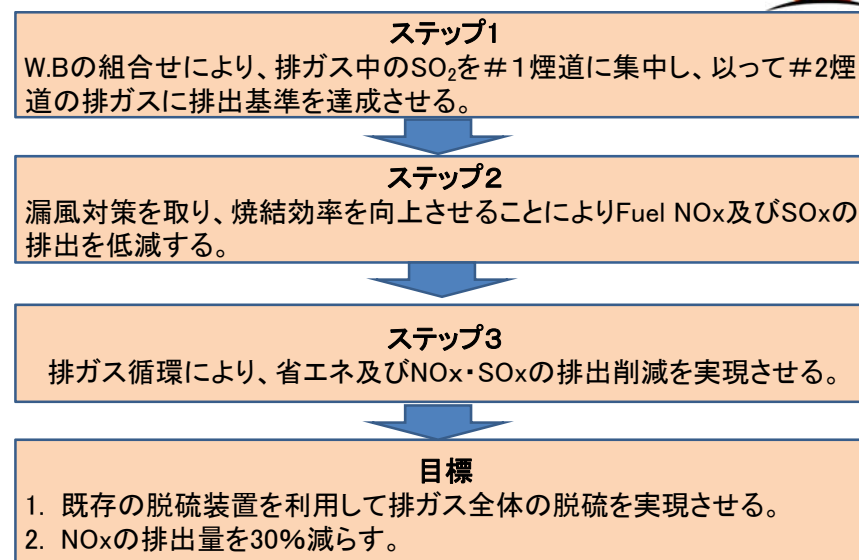
—適合可能性の評価—

現状の新2号焼結機の抑制対策としては、設備の改造、コスト、省エネ効果、技術的信頼性から総合的に判断して、排ガス循環によるNOx低減、抑制対策に優位性があると評価できる。

	NOx mg/m3	SOx mg/m3
規制値:	300	200
計画目標値:	***	***

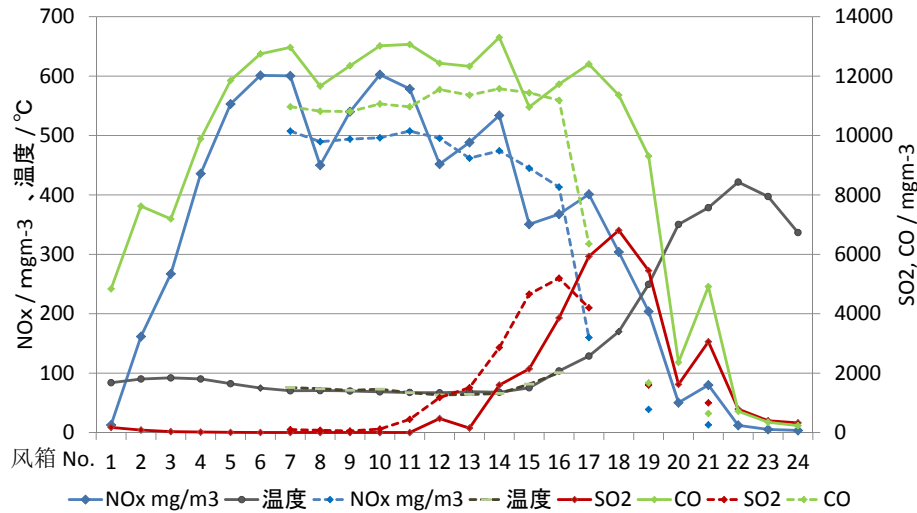
2012.10.01-2014.12.31	2015.01.01から既存企業	特別規制値	モニタリング場所
既存企業	2012.10.01から新設企業		
500 mg/m3	300 mg/m3	300 mg/m3	工場又は生産設備の煙道

3. JICAの提案ステップ



(出展:2015.11.27北京WSプレゼン資料“鉄鋼焼結機におけるNOx・SOx抑制対策—湖南華菱湘潭鉄鋼有限公司)

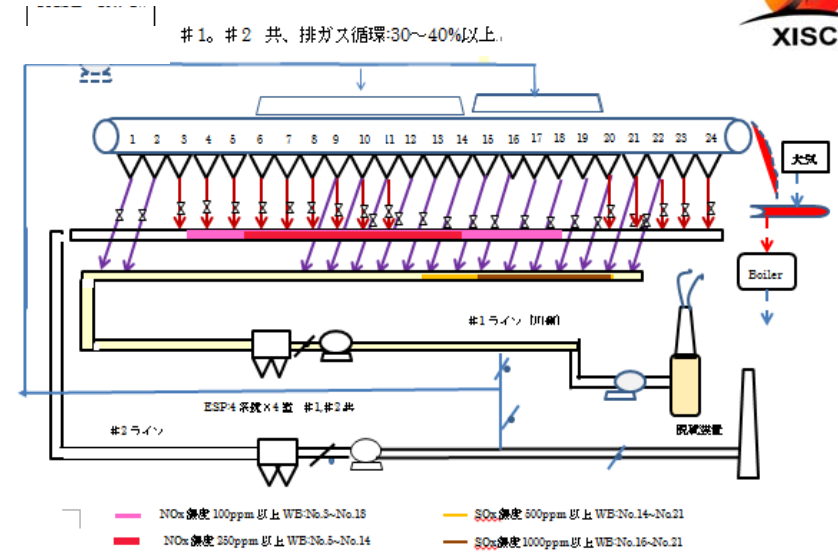
4. 現状の把握



図：測定結果に基づき作成したNOx排出マップ

(出展:JICA主導で実施の現地WBの測定データより作成)

5. JICA専門家提案の排ガス循環Case 1—内循環



(出展:JICA作成「湖南華菱鋼鐵有限公司—新2号焼結機向けNOx低減技術検討報告」に基づきJICA&湖南華菱鋼鐵有限公司の合作案)

JICA専門家と湘鋼との技術協力

➤ 実験中の改題を解決するために、湘鋼はJICA専門家と密に意見交換・検討し、各自の分析及び意見を共有して、実験を進めた。

(出展:湘鋼のWS用PPTを引用(2015.11.27北京開催時))

6. 湖南華菱鋼鐵有限公司&JICAとの協働による成果

★ 新2号焼結機のNOx削減に対して具体的設備レベルでの改善対策の技術情報の交換、改善対策が共有された。

★ 副次的成果として、喫緊課題のSOxの低減対策の検討、テスト実施により効果的対策が得られ、成果が実用化された。1号焼結機へ水平展開2015年末済み⇒大幅なコスト削減実現

《湖南華菱鋼鐵有限公司がJICA専門家の提案に基づき中国メーカーへの基本計画を依頼し、NOx抑制対策と設備の効率化が進展中》

7.モデル企業でのPJ推進のKey Words

- ★現状を的確に把握し、現状の技術対策を理解して頂く。必ずしも革新的、先進的技術が優先されてはいない。**実用化された技術の効果的適用が優先される。**
- ★環境対策が生産性向上、エネルギー効率の向上、省エネ効果を創出する⇒**利益につながる**
- ★モデル企業の**多くの関係部門を巻き込んで**PJの重要性を認識して頂くよう働きかける
- ★多面的視点で、**総合的な解決方法**を検討する。
- ★中国の**ビジネス慣習を理解して**、ニーズに合ったPJの進め方を心掛ける。
- ★**キーパーソンとの信頼関係**向上に努める。
中方にとって望ましい人か、成果に貢献できる人かを評価している。
- ★**政策を理解し**、協同作業する。設備の縮小、新設備を付加しない。

21

ご清聴ありがとうございました。

22

中華人民共和国

大気中の窒素酸化物総量抑制プロジェクト

大気環境データの平均値に基づく評価結果

2016年1月27日 於 北京発展大廈

田畑 亨

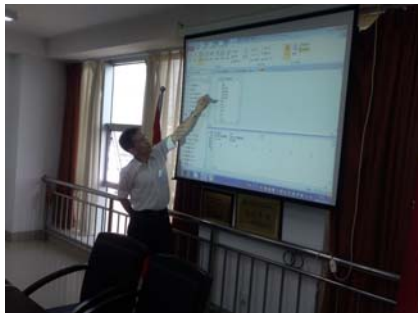
(総括/大気汚染対策専門家)

目次

1. 湘潭市での活動
2. 中国の大気環境基準
3. 北京市の大気汚染
4. 大気汚染情報の活用法の例

1. 湘潭市での活動

排出削減に取り組む企業という土壌を作るためには全国一律の削減目標は必要だったかもしれないが、大気汚染の特徴は都市・地区によって異なる。全国367都市・地区にて大気汚染を測定しているが、環境基準超過状況の報告以外に用いている都市・地区は非常に少ない。そこで、湘潭市環境保護局に対し、環境大気測定データおよび拡散モデルを用いた解析を指導し、ハンドブックにとりまとめた。



湘潭市の大気環境測定局分布図



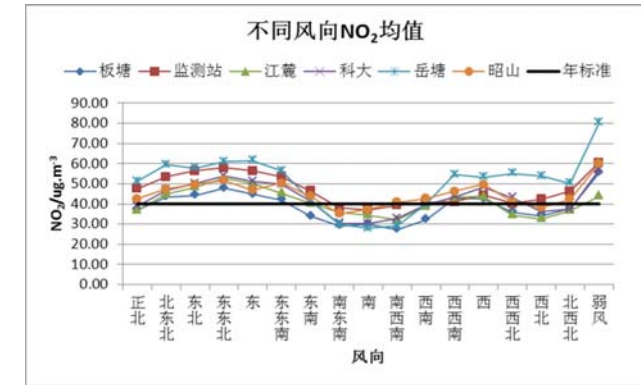
湘潭市の大気環境測定局



5/22

解析結果例 ～湘潭市での環境大気測定データ～

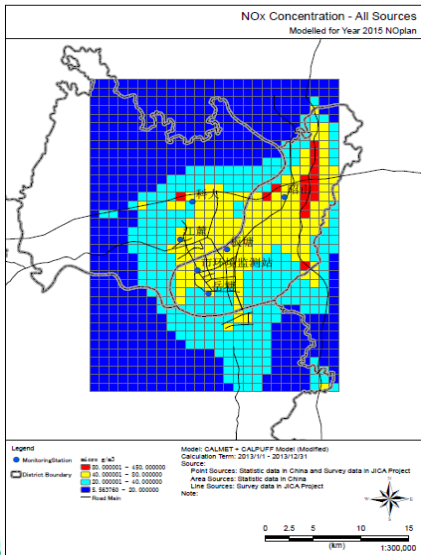
- A) 岳塘測定局のNO₂年平均値は49.62μg/m³である。これを、年平均基準40μg/m³まで下げるには、「この測定局に大きく影響している排出源からの排出量」を「2割以上減らす」必要がある。
- B) 風向別NO₂年平均濃度は、全ての測定局でほぼ同じ傾向を示した。全ての測定局からみて東北東から東南東の方向に主たる汚染源がある可能性が高い。
- C) ただし、岳塘では、西北西から北西および弱風時のみ、他の測定局と違って高濃度であることから、岳塘測定局からその方向にあり、かつ、この測定局にのみ影響を与える距離にある汚染源の排出削減は重要。



6/22

対策案の有効性評価

- 十二・五対策が全く実施されなかったケース

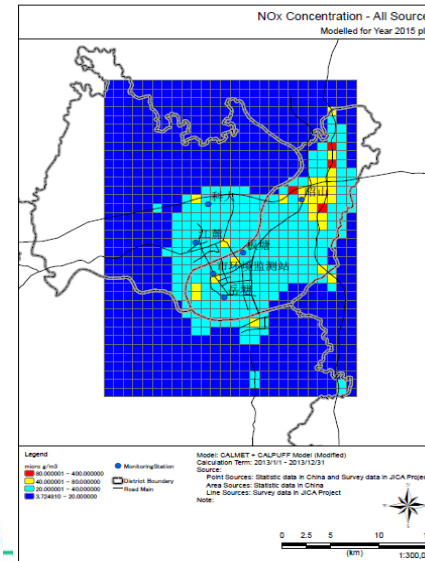


- 拡散計算に基づく濃度分布図。黄色と赤の範囲が、環境基準を超過している。
- 赤が集中している所は、北京と広東を結ぶ高速道路。

7/22 434

対策案の有効性評価

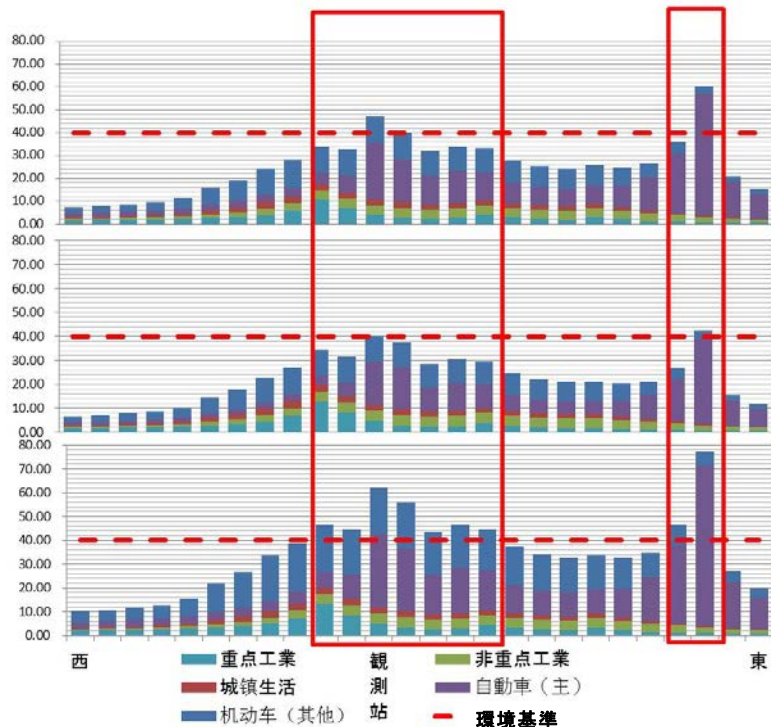
- 十二・五対策目標がすべて達成されたケース



十二・五計画が実施された場合には、湘潭市のNO₂による汚染が改善され、汚染深刻化傾向がよくなった。基準超過範囲比率は2013年の6.41%から3.42%に下がり、最大濃度は329.42 μg/m³から221.22 μg/m³に下がった。

8/22

2013年



2015年対策
完全実施後

2015年対策
未実施時

9/22

2. 中国の大気環境基準 中国と日本の比較

- 人の健康を保護するための基準(GB3095-2012前文)。
- 日本では、「人の健康の保護及び生活環境の保全のうえで維持されることが望ましい基準」であり、「行政上の政策目標」(昭和48.6.8 環告25 等)。

		中国				日本			
		年	1日	日最大8時間	1時間	年	1日	8時間	1時間
SO ₂	μg/m ³	60	150	---	500	---	114	---	286
NO ₂	μg/m ³	40	80	---	200	---	123	---	---
CO	mg/m ³	---	4	---	10	---	12.5	25.0	---
O ₃	μg/m ³	---	---	160	200	---	---	---	129
PM ₁₀	μg/m ³	70	150	---	---	---	100	---	200
PM _{2.5}	μg/m ³	35	75	---	---	15	35	---	---

- 中国の基準は、都市に適用される基準のみを引用した。日本の基準は厳密には比較出来ないところ、単位はppmを0度1気圧で換算、浮遊粒子状物質をPM₁₀と見なす等の仮定をおくことにより、参考値として表示した。



10/22

AQI (中国の場合、HJ 633-2012)

- AQIは、日本の法体系に導入されていない概念。
- AQIは、大気汚染物質濃度を、環境基準と同じであれば100になるように換算した指数。
- 利点: 100を超えていれば環境基準超過だとわかる。
 - 例えば、PM_{2.5}が115μg/m³、PM₁₀が150μg/m³、NO₂が100μg/m³、SO₂が300μg/m³、というデータがあったとして、環境基準をどの程度超過しているのか、さっと判断出来る人は少ない。指数であれば、100を超えていれば環境基準超過である、500であれば大幅に超えている、と判断できる人が増える。



11/22 435

AQI (中国の場合、HJ 633-2012)

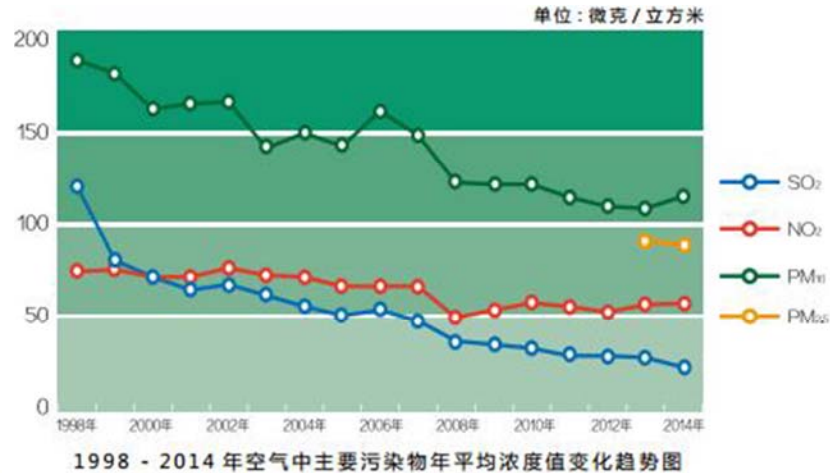
- 欠点1: 各国が指数の計算方法を決めている。
 - 中国は、HJ 633-2012という環境保護標準で定めている。米国は、40 CFR Part 58という規則で定めている。
 - PM_{2.5}が、日本でレベルIIの注意喚起となる朝7時の90μg/m³は、中国政府機関が発表するAQI=115になるが、米国方式で計算する米国大使館の発表ではAQI=169になる。
- 欠点2: 指数500以上を定めていない。
 - 監視総站のスマホアプリでは、指数500以上の大気汚染になっても、指数は500と発表される。
 - 在モンゴル米国大使館のツイッターでは、高濃度になればそれに合わせて指数も500を超えるが、計算方法は米国の規定に書かれていない。



12/22

3. 北京市の大気汚染 ～年平均値の変遷～

- 16年間という長期間で見れば、大気汚染は改善してきている。
- 特に北京オリンピックが開催された2008年には大幅に改善した。



出典 北京市環境状況公報 2014 13/22

北京市の大気汚染 ～月別平均値～

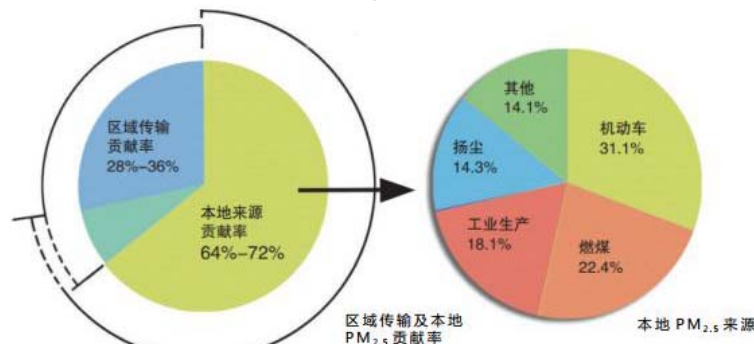
- SO₂は、季節の変化に従順。
- NO₂が10月に高濃度になる。なぜ？
- PM_{2.5}とPM₁₀は、2月から4月とは別に10月にも高濃度。なぜ？



出典 北京市環境状況公報 2014 14/22

北京市の大気汚染 ～PM_{2.5}の原因解析～

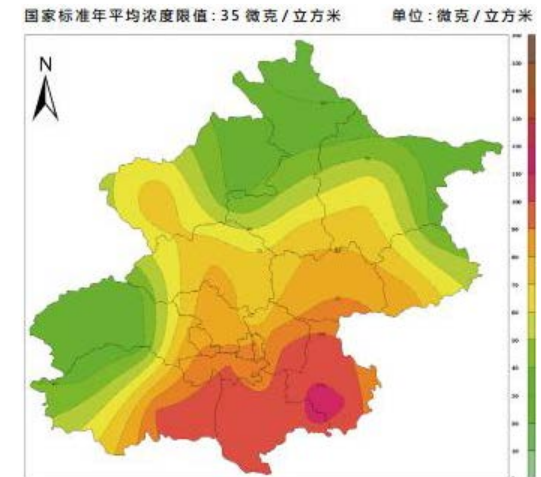
- 北京市環境保護観測センターが、北京大学、中国環境科学研究院等の科学研究機関と共同で、2012年6月から研究し、2014年4月17日に発表した解析結果の場合。
- 市外からの影響が28%～36%、市内からの影響が64～72%。
- 市内からの影響の内訳では、自動車の影響が31.1%と最大であるが、石炭燃焼、工業生産、巻き上げ粉じん等の影響も大きい。



出典 北京市環境状況公報 2014 15/22

北京市の大気汚染 ～PM_{2.5}の年平均値濃度分布～

- PM_{2.5}の年平均値の分布
- 北端で30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、南東部の高濃度地区で110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上
- 五環路の中では、オリンピック公園周辺が最低で70～80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



出典 北京市環境状況公報 2014 16/22

4. 大気汚染情報の活用法の例

1. 測定局を選ぶ

前のスライドに示したとおり、北京市の中でも、場所によって大気汚染状況が異なる。天気予報アプリ等に表示される北京のどの地点のかわからない指数ではなく、皆様の自宅、職場、ご子息の学校等の状況に近い測定局のデータを参照することが好ましい。



出典 <http://aqicn.org/> 17/22

大気汚染情報の活用法

2. 情報を見る

	対象都市	北京市内局数	URL	iOS	Android	予報
環境監測總站	全国367都市・地区	12地点	www.cnemc.cn 内の全国城市空氣質量等のバナー	無	有	有(パソコン専用)
北京空氣質量	北京のみ	35地点	zx.bjmemc.com.cn/	有	有	市内5区分
アジア空氣品質	全国224都市	36地点	aqicn.org	有	有	無

日報ではなく、1時間平均濃度の変化を読むようにしています。

その観点から、「アジア空氣品質」というスマホアプリを最もよく使用しています。指定した地点の全物質の過去24時間の変化を一覧できることと、スマホアプリですのでバスや地下鉄車内でも気軽に確認できるのが利点です。ただし、測定データは、北京市環境保護監測中心、中国環境監測總站、米国大使館などのデータを引用しています。



大気汚染情報の活用法 ～全国城市空氣質量アプリ～



- 特徴は、測定地点別の詳細を比較しやすいこと(左から2枚目の図)。
- 経時変化は見えにくい(右端の図)



大気汚染情報の活用法 ～北京空氣質量アプリ～



- 特徴は、予報があること(右の図)
- その他の情報は見えにくい(左の図)



大気汚染情報の活用法 ～アジア空気品質アプリ～



- 特徴は、選択した地点の経時変化が見やすいこと
- 複数の地点の比較は難しい。



ご静聴ありがとうございました

田畑 亨