

コソボ共和国
環境空間計画省

コソボ国
大気汚染対策アドバイザー業務
事業完了報告書

平成 28 年 5 月
(2016 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

JFE テクノリサーチ株式会社

環境

JR

16-066

目 次

第1章 業務の概要	1
1-1 業務の背景.....	1
1-2 活動の概要.....	2
1-3 成果の目標に係る活動.....	2
1-3-1 煙道排ガス測定技術の移転.....	2
1-3-2 煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用.....	3
1-3-3 エミッションインベントリ構築に向けた排ガス対策の検討・実施能力強化.....	4
1-3-4 ワークショップの開催による理解の促進.....	4
1-4 メンバとスケジュール.....	5
第2章 コソボ国におけるエネルギー事情と環境規制への対応	7
2-1 コソボ国のエネルギー事情について.....	7
2-1-1 コソボ国のエネルギー事情・電力事情の特徴.....	7
2-1-2 コソボ国のエネルギー事情の課題等について.....	8
2-1-3 コソボ国の環境規制およびエネルギー計画.....	9
2-2 環境規制と NERP 策定について.....	9
2-2-1 EC 指令による環境規制値.....	9
2-2-2 NERP 策定について.....	11
第3章 発電所について	13
3-1 コソボの炭鉱.....	13
3-2 Kosovo A 発電所の設備とその内容.....	15
3-2-1 概要.....	15
3-2-2 Kosovo A 発電所運用状況調査結果.....	16
3-3 Kosovo B 発電所の設備とその内容.....	25
3-3-1 概要.....	25
3-3-2 Kosovo B 発電所運用状況調査.....	26
第4章 煙道排ガス測定とその評価	32
4-1 EC 指令による監視・測定に関する規定.....	32
4-2 Kosovo A 発電所における測定およびその測定結果.....	33
4-2-1 測定場所について.....	33
4-2-2 測定結果.....	34
4-3 Kosovo B 発電所における測定およびその測定結果.....	41
4-3-1 測定場所について.....	41
4-3-2 測定結果.....	43
4-4 Kosovo A および B 発電所における測定場所の見直しについて.....	47

4-5	Kosovo A&B 発電所におけるサンプリングの実施	48
4-5-1	サンプリングについて	48
4-5-2	Lignite 等の分析値入手結果について	49
4-5-3	日本における分析結果	49
4-6	煙道排ガス測定技術の伝承について	57
第5章 大気汚染対策について		59
5-1	大気汚染対策について	59
5-2	ダスト低減対策	60
5-3	NO _x 低減対策	64
5-4	SO _x 低減対策	70
第6章 ワークショップ等その他活動のまとめ		75
6-1	ワークショップ及び報告会	75
6-1-1	第1次派遣：第1回ワークショップ	76
6-1-2	第1次派遣：中間報告会	76
6-1-3	第1次派遣：第2回ワークショップ	77
6-1-4	第2次派遣：第1回ワークショップ	78
6-1-5	第2次派遣：第2回ワークショップ	80
6-1-6	第2次派遣：第3回ワークショップ	81
6-2	コソボ水理気象研究所 (KHMI) との打ち合わせ	81
第7章 成果と今後の課題		83
7-1	専門家による煙道排ガス測定技術の移転	83
7-2	煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用	84
7-3	エミッションインベントリ構築に向けた排ガス対策の検討・実施能力強化	85
7-4	ワークショップの開催	86
付属資料-1 C/P リスト		87
付属資料-2 測定結果資料		88
2-1	Kosovo A ボイラ測定結果	88
2-1-1	Kosovo A ボイラ操業運転データ	88
2-1-2	Kosovo A ボイラ測定結果(データ)まとめ	92
2-1-3	Kosovo A ボイラ測定結果(詳細)	96
2-2	Kosovo B ボイラ測定結果	106
2-2-1	Kosovo B ボイラ運転データ	106
2-2-2	Kosovo B-1 ボイラ測定結果(データ)まとめ	110
2-2-3	Kosovo B-1 ボイラ 測定結果(詳細)	112

付属資料－3	MOU.....	118
--------	----------	-----



コソボ国

上空から見た Kosovo 火力発電所



Kosovo A 火力発電所



Kosovo B 火力発電所



褐炭の露天掘り



Kosovo A 電気集塵機



Kosovo B 電気集塵機

略 語 表

	英語	日本語
CEMs	Continuous Emission Monitoring System	排ガス連続監視システム
CFB	Circulating Fluidized Bed combustion Boiler	循環流動層ボイラ
CO	Carbon monoxide	一酸化炭素
C/P	Counterpart	カウンターパート
EC	Energy Community	エネルギー共同体
ECT	Energy Community Treaty	エネルギー・コミュニティ条約
EEA	European Environment Agency	欧州環境機関
ELVs	Emission Limit Values	EU 排出基準
ESP	Electrostatic Precipitator	電気集塵機
EU	European Union	欧州連合
KHMI	Kosovo Environmental Protection agency	コソボ環境保護局
IC	Ion Chromatograph	イオンクロマトグラフ
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JET	JICA Expert Team	JICA 専門家チーム
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人 国際協力機構
JIS	Japanese Industrial Standards	日本工業規格
KEK	Kosovo Energy Corporation	コソボエネルギー公社
KEPA	Kosovo Environmental Protection Agency	コソボ環境保全機関
KHMI	Kosovo Hydro-meteorological Institute	コソボ水理気象研究所
KOSTT	Kosovo Operator Sistemi, Transmisioni dhe Treu SH.A	コソボ電力管理公社
LCP	Large Combustion Plant	大型固定発生源
Lignite	Lignite	褐炭
MOU	Minutes of Understanding	覚書
MED	Ministry of Economics Department of Energy	経済エネルギー省
MESP	Ministry of Environment and Spatial Planning	環境空間計画省
NERP	National Emission Reduction Plan	国家排出削減計画
Nm ³	Volume of Standard State (0C,1ata)	標準状態 (0℃、1気圧) の体積
NO ₂	Nitrogen dioxides	二酸化窒素
NO _x	Nitrogen oxides	窒素酸化物
O&M	Operation and Maintenance	運転・保守
OJT	On the Job Training	オンザジョブ・トレーニング
O ₂	Oxygen	酸素
PM2.5	Particulate Matter with a diameter of 2.5 micrometers or less	2.5 ミクロン以下の微粒子
SO ₂	Sulphur dioxides	二酸化硫黄
SO _x	Sulphur oxides	硫黄酸化物 (SO ₂ +SO ₃)
SOP	Standard Operating Procedure	作業手順書
TPP	Thermal Power Plant	火力発電所

第1章 業務の概要

1-1 業務の背景

コソボ共和国¹ (Republic of Kosovo 以下「コソボ」と記す) はバルカン半島のほぼ中央に位置し、2008年に独立を宣言した人口約180万人、面積は日本の岐阜県に相当する約1万km²のまだ若い国である。コソボは、旧ユーゴで最も開発が遅れた地域であり、旧ユーゴ及びセルビアからの援助に依存していたため、自立的な経済構造をまだ有していない。現在、恒常的な貿易赤字と税収の不備、電力不足、若年層を中心とする大量の失業など課題が山積している。住民の多くは海外移民からの送金、外国援助に依存している。

このような状況の中、都市部における大気汚染（主に老朽化した大型火力発電所及び車輛の排ガス等が要因）が深刻な環境問題となっており、市民の健康への影響が懸念されている。2008年の独立宣言以降、復興にあたり社会インフラ整備に重点をおいてきたことから、環境への取組が遅れている状況にあり、欧州連合（European Union：以下“EU”と記す）加盟国を中心として構成されるエネルギー共同体²（Energy Community：以下“EC”と記す）加盟を目指す現在、特に大型固定発生源（Large Combustion Plant：以下“LCP”と記す）に対する環境の基準を満たすことを前提とした環境対策が急務となっている。

環境空間計画省（Ministry of Environmental and Spatial Planning：以下“MESP”と記す）は、大気環境モニタリングに必要な法律の制定や関連規定の策定に取り組み、2011年には「Strategy and Action plan on Air Quality」を策定している。現在は、エネルギー共同体加盟の前提として国家排出削減計画（National Emission Reduction Plan：以下“NERP”と記す）の策定が求められており、今後は国の資源や他ドナーからの支援を踏まえながら環境課題へ取り組む必要がある。NERPはLCP（Heat Inputで50MW以上のもの）におけるダスト、SO₂、NO_xがECの規定する指令³（以下“EC指令”と記す）に示すLCPの排出基準（Emission Limit Values：以下“ELVs”と記す）を達成することを基本としている。

上述の状況において、2013年にはNERP策定に向けたロードマップの準備を通じたMESP環境保護課の能力を支援するための技術協力（個別専門家派遣）にかかる要請がなされた。JICAは2014年度課題別研修「大気環境管理に向けたキャパシティビルディング」にMESPならびにその実施機関であるコソボ水理気象研究所（Kosovo Hydro-meteorological Institute：以下“KHMI”と記す）から1名ずつ招聘し、当該研修員はNERP策定に向けたアクションプランとしてロードマップを作成した。またその後、JICAは2015年4月にコンタクトミッションを派遣し、協力枠組に関するMOU⁴（Minutes of Understanding）を交わした。

本業務は上述のMOUに基づき研修員が作成したロードマップのうち、煙道排ガスの測定技術、測定結果の評価技術及び測定データの収集・モニタリング技術について支援するものである。

¹ 外務省ホームページ：<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/kosovo/>

² Energy Community ホームページ https://www.energy-community.org/portal/page/portal/ENC_HOME

³ LCPsに関する Directive：2001/80/EC of the European Parliament and of the council、及び Directive 2010/75/EC of the European Parliament and of the councilのうち Chapter 3（Article 28～Article41）。

⁴ 「Minutes of understanding Between Japan International Cooperation Agency and Ministry of Environment and Spatial Planning of Republic of Kosovo for the Contact Mission for “Expert for Air Pollution Control JFY 2015”」（2015年4月23日）

1-2 活動の概要

JICA は 2015 年 4 月の JICA Contact Mission において交わした MOU に基づき、今回の活動を通じて以下の成果を実現することを実施方針とした。表 1-1 に業務の枠組みを示す

表 1-1 業務の枠組み

タイトル	大気汚染対策アドバイザー業務
対象設備	Kosovo A 発電所、Kosovo B 発電所
実施期間	2015 年 10 月～2016 年 5 月
主轄カウンターパート	環境空間計画省
関係省庁	経済エネルギー省
カウンターパート	環境空間計画省、環境空間計画省下部機関（コソボ環境保全機関、コソボ水理気象研究所）経済エネルギー省、経済エネルギー省下部機関（コソボエネルギー公社）
成果の目標	<p>① 専門家（JICA Expert Team：以下“JET”と記す）により煙道排ガス測定技術の移転を行い、コソボ側の同測定に関する理解を深め、技術の向上をはかる。</p> <p>② JET により火力発電所等における煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用についての啓発を行い、コソボ側関係機関（環境省、KHMI、KEK、Kosovo A 及び B 発電所）に関する知見を強化する。</p> <p>③ 煙道排ガス測定及びその測定データの活用にかかる活動を通じて、MESP のエミッションインベントリ構築に向けた LCP の現状把握及び LCP における ELVs 達成のための排ガス対策の検討・実施を行う能力を強化する。</p> <p>④ ワークショップを複数回開催することにより、関係機関の本プロジェクトに対する理解を促進するとともに、プロジェクト実施のプレゼンスを高める。</p>

1-3 成果の目標に係る活動

以下に成果の目標に係る活動の概要を示す。

1-3-1 煙道排ガス測定技術の移転

コソボの主要発電所である Kosovo A 火力発電所（Kosovo A Thermal Power Plant：以下火力発電所は“TPP”と記す）と Kosovo B TPP において煙道排ガス測定のデモンストレーションを実施すると同時に、コソボに測定技術の移転を実施することを目標としている。

以下にその内容を示す

- ① 煙道排ガス（ダスト、SO_x⁵、NO_x）測定に必要な測定機材の特定をおこない、サンプリング装置からラボ分析までの測定装置を揃えて、測定できるようにする。
- ② ワークショップまたは講義を通して、コソボにおける煙道排ガス測定に関する知見を高め

⁵ EC 指令³では SO₂ が規制対象となっている。他に SO_x (SO₂+SO₃) を測定する方法がある。EC 指令は SO₂ を規定していること、自動連続測定機器は SO₂ を測定することからこの二つのケースは SO₂ と表示し、通常は SO_x と表示する。

る。

- ③ 煙道排ガス測定装置を使用して、測定のデモンストレーション（サンプリング、ラボ分析、データ解析）を実施する。煙道排ガス測定は、コソボの石炭火力発電所である Kosovo A TPP、Kosovo B TPP の電気集塵機（Electrostatic Precipitator：以下“ESP”と記す）の入側と出側で、状況の許す限り実施する。
- ④ コソボの煙道排ガス測定担当者に対し、煙道排ガス測定に関する OJT（On the Job Training：以下“OJT”と記す）を実施する。

なお、ダスト濃度測定は JISZ8808 に沿った測定を実施した。また、SO₂、NO_x に関しては日本より自動連続測定機器を持ち込み測定することとしたが、第 1 次派遣時は測定機器の調達に必要な時間が十分なかったことから検知管方式で代替し、第 2 次派遣時に自動連続測定機器を持ち込み、測定を実施した。

なお、ダストのデータに関しては、コソボではこれまでプラントメーカーによる煙道排ガス測定結果しかないことやダスト濃度測定を実際に見たことがないと言ったことから排ガス連続監視システム（Continuous Emission Monitoring system 以下“CEMs”と記す）による測定結果しかなく正式なダスト濃度測定を実施したことがないと推定できること、及び NERP へ提出する煙道排ガス測定値の報告のためにダスト濃度測定値が必要であることもあり、C/P の OJT による煙道排ガス測定よりも、JET によるデモンストレーションを兼ねての煙道排ガス測定の実施を優先した。コソボ排ガス担当者の教育に関しては、作業手順書（Standard Operating Procedure：以下“SOP”と記す）を提供し、OJT への支援とした。しかしながら、煙道排ガス測定の実施を優先することから、測定担当者への OJT には必ずしも十分な時間が確保できず、測定技術のマスターには至らなかった。

測定に関しては並行して、コソボ環境省が保有するイオンクロマトグラフによる SO_x、NO_x の測定に関するアドバイス・指導を実施する予定であったが、使用するためにはイオンクロマトグラフのメーカー調整が必要であること等、コソボ側の準備・対応が難しいことがわかり、今回は対象外とした。

1-3-2 煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用

測定した煙道排ガスデータをもとに、コソボのカウンターパート（Counterpart：以下“C/P”と記す）がボイラの ELVs に対する現状の煙道排ガスの状況を認識するとともに、ELVs の達成に向けた煙道排ガスデータ活用に関する C/P への啓発を成果の目標としている。

以下の内容を実施し、現状を把握したうえで、提言を実施する。

- ① 火力発電所での設備仕様、石炭の性状、現状の操業状況・操業データ、トラブル履歴、運転/保守履歴、運転管理の実態（効率管理、環境管理）、保守管理の現状（定期点検の内容、故障発生時の修理部品の調達など）、排ガス対策等を確認する。
- ② 石炭および飛灰、炉底灰のサンプリングを行い、日本にて分析（主に工業分析・元素分析）を実施し、解析のデータの一助とする。
- ③ 火力発電所を運営するにあたっての基本的な実施事項である燃焼管理・排ガス対策を説明するとともに、ボイラの燃料や燃焼方式およびその運転状態とダスト、SO_x、NO_x との関係を理解の促進をはかる。
- ④ 採取データや持ち帰った石炭等の分析結果をもとに、各火力発電所における課題を整理し、

現状の火力発電所におけるボイラ技術や燃焼管理の改善、ダスト・SO_x・NO_xの排ガス対策に対する具体的な提言を行う。

現状のボイラの状況を確認したうえで、煙道排ガス測定結果及び石炭等の分析をもとに、ワークショップおよび報告会等を通じて、現状の Kosovo A ボイラ・Kosovo B ボイラの煙道排ガス測定値と EC 指令に規定する ELVs（内容は第 2 章参照）との関係を説明する。

ダストについては、ESP 入側・出側での流速分布やダスト濃度分布の測定も実施し、改善策を提言する。また、SO_xについては使用される石炭の特徴から炉内脱硫が進行している可能性もあり、その内容について検討する。NO_xに関しては排ガス O₂ 低下等の操業改善策およびハード改善による改善策を提言する。

1-3-3 エミッションインベントリ構築に向けた排ガス対策の検討・実施能力強化

測定したデータを利用・活用し、現状の煙道排ガスの状況を認識し、現状の発電設備におけるエミッションインベントリとして数値化するとともに、将来の ELVs 達成に必要な TPP の改善・改造等の計画立案を支援することを成果目標としている。

以下の内容を実施し、現状を把握したうえで、提言を実施する。

- ① 大気汚染に関する基礎情報の調査（政策、戦略、アクションプラン、基準、大気の状態、エミッションデータ等）についてヒアリングし、関連資料を入手する。
- ② MESP のエミッションインベントリ構築に向けた対象火力発電所の問題点の現況把握に関する情報を提供する。
- ③ 火力発電所における ELVs 達成の方策及び NERP 策定に向けての課題を抽出する。
- ④ これをもとに、ELVs の達成の方策及び NERP 策定に関する課題を整理し、今後の方針を提示する。
- ⑤ 他国における類似の事例を紹介し、関係機関の排ガス対策に関わる知見を高める。

など、基礎情報の調査や対象火力発電所の現況把握について、ヒアリング等を通して実施するとともに、NERP 策定に向けての課題や今後の方針に関し、提言を実施する。

1-3-4 ワークショップの開催による理解の促進

ワークショップは煙道排ガス測定に関するもの、ボイラに関するものを実施するとともに、ワークショップの他に、測定結果に関する報告も同時に実施する等、複数回開催することにより、質疑応答、ディスカッションを通し C/P の本プロジェクトに対する理解の促進に努める。

表 1-2 に実施したワークショップ及び報告会についての内容を示す。

表 1-2 ワークショップ及び報告会

第 1 次派遣（2015 年 10 月 19 日～11 月 12 日）		
日時	ワークショップ名	内容
10 月 21 日	Exhaust Gas Measurement and Analysis in Japan (On the air environment)	日本における排ガス対策の歴史とダストの測定方法について
11 月 2 日	Exhaust Gas Measurement (Dust measurement) Report	Kosovo A TPP におけるダスト濃度測定結果について

11月10日	Exhaust Gas Measurement (Dust measurement) Report Air Pollution and Boiler	Kosovo B TPP におけるダスト濃度 測定結果について ボイラにおける排ガス対策につ いて
第2次派遣 (2016年3月7日～3月31日)		
3月22日	Exhaust Gas Measurement (SO ₂ , NO _x , Dust measurement) Report, On-site stack gas measurement	Kosovo A TPP, B TPP におけるダス ト SO ₂ , NO _x 、測定結果報告 煙道排ガス測定に係る規定等につ いて
3月25日	Pollution Control of Boiler Coal & ash analysis result Introduction of the similar project for air pollution control	石炭ボイラにおける排ガス対策 Kosovo の石炭等の日本での分析結 果について モンゴルプロジェクトの紹介
3月29日	Wrap-up workshop	成果と今後の課題の協議と確認

C/P のリストは付属資料 - 1 に記載

1-4 メンバとスケジュール

”Expert for Air Pollution Control “の第1次派遣は10月18日にコソボ・プリシュティナ市(首都)に入り、10月19日より活動を開始し、11月12日に活動を終了し出国した。第2次派遣は3月6日に入り、7日から活動を開始し、3月31日に活動を終了し出国した。

派遣メンバを表1-3に示す。また、全体のスケジュールを図1-1に、また活動概要と活動期間を表1-4に示す。

表1-3 派遣メンバ

清水 益人	総括/煙道排ガス測定 I	JFE テクノリサーチ(株)
臼井 忠良	煙道排ガス測定 II	JFE テクノリサーチ(株)
中嶋 靖史	大型固定発生源排ガス測定データ活用	(株)火力発電技術研究所

		2015年						2016年			
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
現地調査			10/19 ■	11/12 ■			3/7 ■	3/31 ■			
国内作業			■	□	■			□			
報告書			△△ 業務計画書	△△ ワークプラン			△ プロジェクト事業 完了報告書(案)		△ プロジェクト事業 完了報告書		
セミナー等	煙道排ガス測定		△△					△			
	ボイラ			△				△			

図 1-1 全体スケジュール

表 1-4 派遣時の各週の活動概要

第 1 次派遣 (2015 年 10 月 19 日～11 月 12 日)

第 1 週	C/P への活動内容の紹介、各発電所の事前調査、関係機関へのヒアリング、第 1 回ワークショップ、測定準備等
第 2 週	Kosovo A ボイラの測定および測定結果まとめ、炭鉱の見学
第 3 週	Kosovo A ボイラの測定結果報告、Kosovo B ボイラの測定および測定結果まとめ
第 4 週	活動まとめ、次回活動計画、第 2 回ワークショップ

第 2 次派遣 (2016 年 3 月 7 日～3 月 31 日)

第 1 週	Kosovo A ボイラの測定および測定結果まとめ EC 事務局からの draft NERP への質問に対する回答作成支援
第 2 週	Kosovo B ボイラの測定および測定結果まとめ EC 事務局からの draft NERP への質問に対する回答作成支援
第 3 週	第 1 回ワークショップ (Kosovo A ボイラ、B ボイラの測定結果報告等) 第 2 回ワークショップ (石炭ボイラの環境対策、日本での Lignite 等分析結果説明等) 供与機材の受け渡し手続き、各関係機関との打合せ
第 4 週	第 3 回ワークショップ、活動まとめ

*)詳細日程は別添資料に示す

第2章 コソボ国におけるエネルギー事情と環境規制への対応

関係機関へのヒアリング及び火力発電所へのヒアリングを実施し、コソボにおける電力事情や規制の状況、及び各火力発電所の概要をまとめた。これらの項目は、「1-3-2 煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用」および「1-3-3 エミッションインベントリ構築に向けた排ガス対策の検討・実施能力強化」のコソボのエネルギー事情、環境規制の概要及び今後の対応の方向性を示すものである。

2-1 コソボ国のエネルギー事情について

コソボの電力事情を中心としたエネルギーについては経済エネルギー省（Ministry of Economy Development：以下“MED”と記す）が管轄省庁となっている。その下部機関としてコソボ電力管理公社（Kosovo Operator Sistemi, Transmisioni dhe Treu SH.A：以下“KOSTT”と記す）が送配電関係を分担し、コソボエネルギー公社（Kosovo Energy Corporation：以下“KEK”と記す）が発電そのものを分担している。

KOSTTはEUの電力Market開放政策にのっとり2006年に創設された、コソボにおける電力の長期計画の立案や送電を担当し、国内および隣接国との電力売買の調整、電力の需給調整なども行っている。なお、配電については民営化され、トルコの企業が出資したKESCOが行っている。

コソボのエネルギー事情、特に電力事情については、主にKOSTTから情報を入手した。

2-1-1 コソボ国のエネルギー事情・電力事情の特徴

- ① コソボは豊富な石炭資源に恵まれている。コソボのLignite（褐炭：以下“Lignite”と記す⁶）の埋蔵量は世界で4～5番目といわれており、豊富で且つ露天掘りであり、非常に恵まれた環境となっている。またその埋蔵量の多くはプリシュティナ市近郊のObliqにある二つの火力発電所近傍に位置している（図2-1⁷）。1922年から採掘を開始し、今迄に320百万トンのLigniteを採掘した。現状は8.5百万トン/年の採掘量（ほぼKosovo A & B TPPのLignite使用量に相当）で、単純計算すれば1,000年以上は持続する埋蔵量となっている。

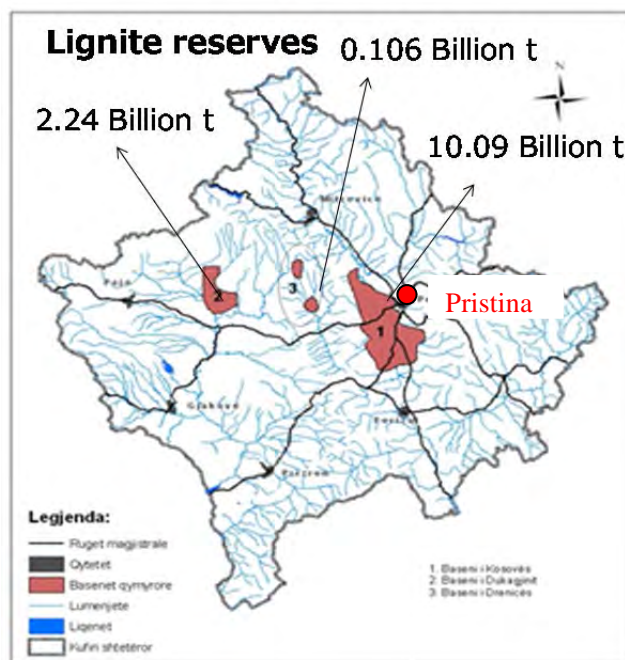


図2-1 コソボのLignite埋蔵位置と埋蔵量⁷

⁶ 一般に石炭はその産地（炭層）によって性質が大きく異なる。石炭化度（固定炭素比率）が高いほうが一般的に燃焼性は悪い（固定炭素分が高い場合揮発分が少なくなり燃焼性は悪化する）。日本では指標として燃料比（固定炭素/揮発分）によって分類される。通常では無煙炭（anthracite）：4以上、瀝青炭（bituminous coal）：1.5～4、亜瀝青炭（sub-bituminous coal）：1～1.5 褐炭（brown coal or lignite）：1以下を用いているが、国際的には一般に揮発分が用いられる。

⁷ KOSTTプレゼン資料（別添資料参照）より

- ② コソボを囲む5つの隣接国（アルバニア、マケドニア、ブルガリア、モンテネグロ、セルビア）と電力系統がつながっており、強い電力系統を有している（図2-2⁷）。送電系統は400kVのラインで繋がっている。国内の送電網は、220KV, 110KV, 35KV, 10KV などがある。国際連携系統はロシアともつながっており、長距離送電であることから、送電ロスを減らすために700KVを採用している。2006～2014年にかけて130百万Euroをかけて電力系統を整備し送電・配電ロスを減らした。これから120百万Euroをかけて送電線や変電設備を整備していく予定である。

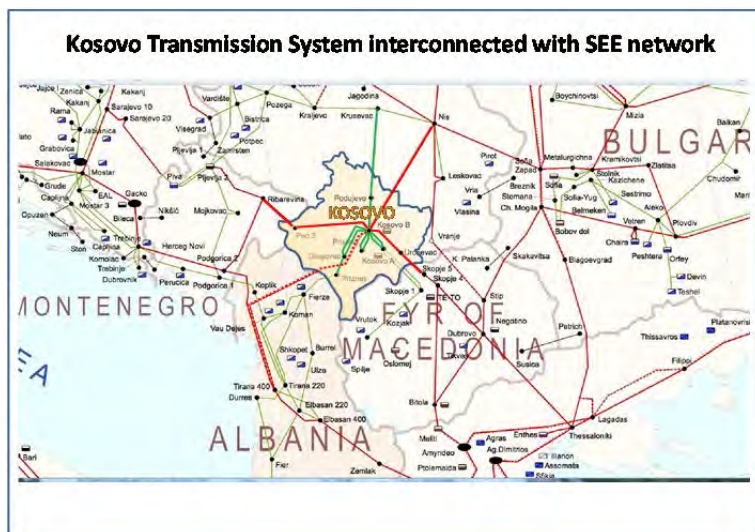


図2-2 コソボの電力網⁷

- ③ 現在の Kosovo の総発電設備容量は、1,054MWで、火力が974MW、水力が75MW、小水力・風力が5MWで、90%以上を火力が占めており、これらは全て Kosovo A & B TPP（建設時の設備仕様ではなく、現在の De-rating している設備能力ベース）である(図2-3⁷)。

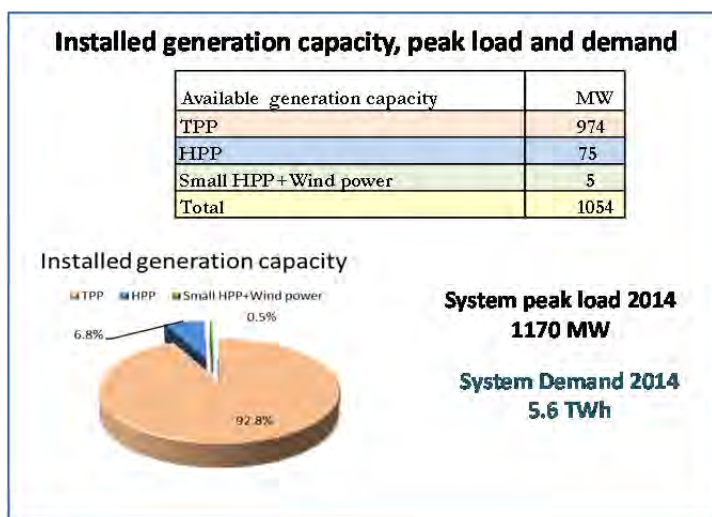


図2-3 コソボの総発電設備容量⁷

2-1-2 コソボ国のエネルギー事情の課題等について

- ① Kosovo A & B TPPは古い石炭焼き火力発電所であり、急速な負荷変動に対応できないので、直近では電力ピークへの対応が課題である。これらへの対応は、負荷追従性の良い水力に頼らざるをえないが、Kosovoでの水力資源は乏しいことから水力資源が豊富なアルバニア（半分以上が水力により賄われている）との協調が必要であり、コソボにおける今後の電源開発は、自国で豊富に生産する褐炭を使った石炭火力の建設が主流となる。
- ② 電力のピークは冬の夜21時ごろに発生する。下記の表が2014年の結果である。

PEAK LOAD	TPP KOSOVA A	TPP Kosovo B	HPP UJMANI	Total Gen	Import
1157 MW	290 MW	2x280=560 MW	32 MW	882 MW	275 MW

- ③ ドイツのコンサルタントが今後20年間の電力の進むべき方向についてコンサルタントを

実施した。結果として、風力発電を中心とした再生可能エネルギーの導入（EC 指令でも再生可能エネルギーの目標値を掲げている）と、水力が半分以上を占める隣国のアルバニアとの協調によりピーク対応をすると良いという結果であった。ただし風力発電に関してはコソボに対する銀行の信用度が低く、お金を貸してくれないのが現状である。

- ④ 現状の再生可能エネルギーの価格(Feed in Tariff)は風力発電が 7.5 cents-Euro/kWh、太陽光発電が 12.6 cent-Euro/kWh、水力発電が 6.03 cent-Euro /kWh、バイオ発電が 7.13 cent-Euro /kWh であるが、Kosovo A & B 発電所の平均の発電単価は 2.8~3.0 cent-Euro /kWh で電力の販売価格は 7 cent-Euro /kWh で有ることから、再生可能エネルギーとの価格差があまりなく、再生可能エネルギーの導入に積極的に取り組めない状況にある。
- ⑤ 電力輸入は 4~5 cent-Euro /kWh で再生可能エネルギーより安い、相手国の供給能力や、必要とする時の Market Price などが関連し、自由に買えるわけではなく、いろいろと制限がある。

2-1-3 コソボ国の環境規制およびエネルギー計画

- ① エネルギー計画は経済エネルギー省（Ministry of Economics Department of Energy: 以下“MED”と記す）が、環境規制は MESP が担当している。環境規制の内容については基本的に EC 指令に従う方向で進めている。
- ② 現在 NERP 素案を作成し、対応するための具体的な検討を始めたところである。NERP 推進に関しては国としてのエネルギー戦略を立てる必要があると考えている。
- ③ 現在の火力発電所（Kosovo A & B TPP）は老朽化して、信頼性も低く、また将来の電力需要増も見込まれるため、近い将来に新しい発電所を建設することを計画している。

コソボは Lignite の埋蔵量が大きく、今後とも Lignite を中心としたエネルギー計画が進むものと予想される。環境規制値をしっかりと認識し、整備を始める必要がある。今後は環境規制を考慮した発電所のリフレッシュ計画が必要になってくる。

2-2 環境規制と NERP 策定について

環境規制の主管部署である MESP は環境規制について基本的に EC 指令³に従うものとしている。NERP では最終的に EC 指令が示す ELVs の達成が求められる。ELVs は LCP に対し EC が示す規制上限値であり、LCP が ELVs を満足することを求めると同時に、2018 年以降その ELVs を次第に強化し、2027 年には最終的な ELVs を達成することを求めている。

2-2-1 EC 指令による環境規制値

EC 指令は、熱投入量が 50MW 以上の設備が対象となっているが、燃料（固体、液体、気体）の種類や、設備の稼働時期、設備規模（50~500MW では規模により規制値が変化、500MW 以上は一定）、設備の種類（ガスタービン等）等で各々異なった規制値を有している。

コソボの火力発電所が新設でないこと、固体燃料である Lignite を使用していることを踏まえた 2018 年の EC 指令が示す ELVs を図 2-4 に示す。

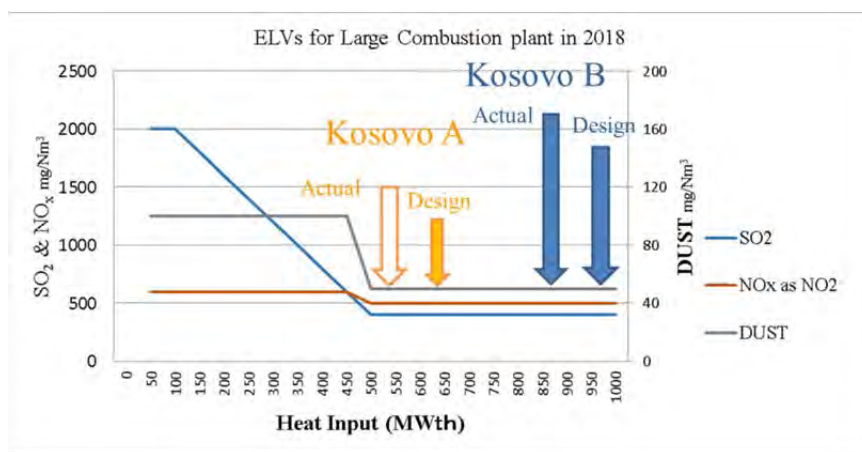


図 2-4 2018 年時点の Kosovo A ボイラおよび B ボイラに対する ELVs

Kosovo のボイラはともに熱投入量 500MW 以上の範囲に位置している。図 2-5 には 2018 年以降の Kosovo のボイラに対する ELVs の変化を示す。

この規制は 2018 年より始まり、規制値が強化されながら、2027 年の最終目標を達成しようとするものである。この規制を満足できない設備は最終的には停止することとなっている。

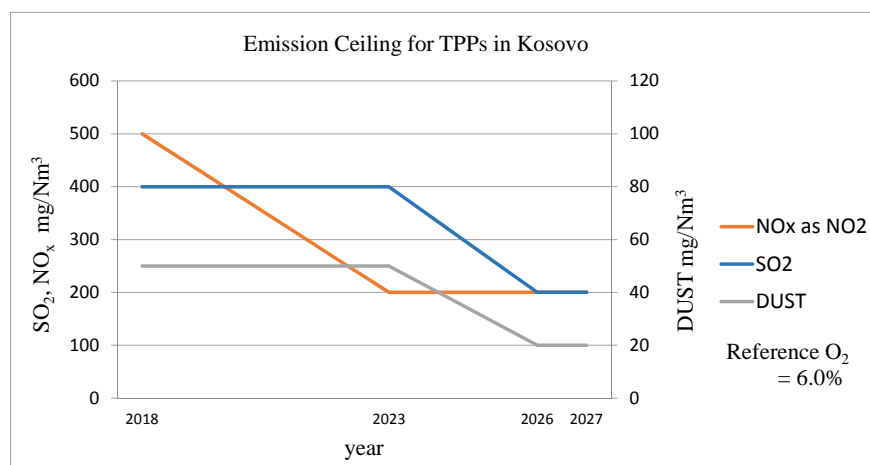


図 2-5 EC 指令 (EC Directive 2010) による ELVs (Kosovo A ボイラ、B ボイラの規制値)

参考までに日本における同規模の石炭ボイラの規制値および規制の考え方を示す。

① ダスト (ばいじん) : $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ または $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ (地域によって異なる)

② SO_x : K 値規制による

SO_x 規制は地域と補正された煙突高さによって SO_x 排出量を規定するもので、地域ごとに K 値が異なる。

$$q = K \times 10^{-3} \times H_e^2$$

q : SO_x 排出量 (Nm^3/h)

K : 法律によって定める地域ごとの値

H_e : 規定された数式によって算出される排出口の高さ (m) (煙突有効高さに相当)

③ NO_x : 200ppm ($\approx 411\text{mg}/\text{Nm}^3$)

一般的には上記の規制値が適用されるが、大都市地域等では施設からの排出量そのものを規定する総量規制が適用され、規制はより厳しいものとなっている。

2-2-2 NERP 策定について

NERP は EC 指令規制値に対し国家が今後どのように対応していくかを示す国家計画である。EC は 2015 年末までに、各メンバー国に NERP の提出⁸を求めている。この NERP 策定に関し、MESP は 2014 年度課題別研修「大気環境管理に向けたキャパシティービルディング」において、NERP 策定に向けたアクションプランとしてロードマップ（図 2-7）を作成した。現在はスケジュールより遅れており、工程見直しが必要である。

なお、本業務はこのロードマップのうち

No.6 Inspection and monitoring of emissions

No.7 Assessment of the results

No.8 Collection of Information and monitoring of emissions

の実施を支援するものである。

Kosovo 政府は Draft NERP を昨年末に EC に提出した。しかしながら、計画の内容に具体性を欠き、そのため事務局からの質問状が送付されていたため、回答の作成を支援した。Kosovo は NERP を EC の Guideline⁸に沿ったものとするのは難しく、実情を考えると EC が要求する 2018 年に NERP を開始することは現実的でない。そのため、Kosovo 政府は計画を 4 年遅らせて 2022 年に開始する内容で EU と折衝することを決定し、それに基づき実施計画の見直しを行い、NERP 達成に向けた図 2-6 に示すような改造計画を作成し、この計画に基づいて回答を作成した。Kosovo B TPP については 2016 年度から発電設備全般のリハビリに関する FS を 15 ヶ月かけて実施する予定である。Kosovo A TPP については、新設プラント建設の目途が立たないことから運転を継続し、各時点での EC 指令規制値を満足するような環境対策を行っていく計画である。

Time Table of Retrofit for ELVs

Year	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Schedule	A, B F/S Procurement													
Kosovo A	Dust													
	SO2													
	NOX													
A3	Dust													
	SO2													
	NOX													
A4	Dust													
	SO2													
	NOX													
A5	Dust													
	SO2													
	NOX													
Kosovo B	Dust													
	SO2													
	NOX													
B1	Dust													
	SO2													
	NOX													
B2	Dust													
	SO2													
	NOX													
New Plant	N1													
	N2													

: Construction of New Plant Construction or Installation of Environmental Facility

: Time Limit of ELV

: Preparation

Final ELV

ELV Over

ELV Cleared

図 2-6 今後の改造計画⁹

⁸ POLICY GUIDELINES by the Energy Community Secretariat PG 03/2014 / 19 Dec 2014

⁹ EC Secretariat からの質問書への MESP 回答書より

	Task name Preparation and management	2015												Stackh.	
		Jan	Feb	Mart	April	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
1	Definition of responsibilities bodies for NERP preparation	■													MESP
2	determination of financial implications	■													MESP,MED,MF
3	Determination of the stakeholders	■													MESP
4	definition of the duties														MESP,MED,MTI
4	Establish a system to define and classify the LCP to design NERP	■	■												MESP, MED
5	Distribution of the questionnaire to operators		■												MESP
6	Inspection and monitoring of emissions.		■	■	■	■									MESP
7	Assessment of the results				■	■	■								MESP
8	Collection of information for emission inventories					■	■	■							MESP
9	Training for emissions inventories					■	■								MESP
10	Development of the database						■	■	■						MESP
11	Generation of emissions inventory							■	■	■					MESP
12	compile a list of the plants to be included in the NERP									■	■				MESP, MED
13	define total emission ceilings for SO ₂ , NO _x and dust for each of the years from 2018 until 2027										■	■			MESP
14	Determination of individual plant contributions to total emission ceilings											■	■		MESP
15	Calculating the emission ceiling contributions for 2018, 2023 and 2026											■	■		MESP, MED
16	List of measures to be applied in order to ensure the NERP execution												■	■	MESP, MED
17	Preparation of the of NERP document														MESP, MED, MID
17	Start implementation												■	■	MESP, MED, MTI

図 2-7 NERP 策定に向けたロードマップ

第3章 発電所について

前述のようにコソボは石炭資源に恵まれ、炭鉱に近接したプリシュティナ市近郊の Obliq に二つの大きな石炭火力発電所を有し、2カ所の発電所でコソボ総発電量の90%以上を賄っている。以下にこれら火力発電所の内容と炭鉱の内容について示す。

3-1 コソボの炭鉱

コソボの Lignite 埋蔵量は世界で4~5番目といわれており、豊富で且つ露天掘りという非常に恵まれた環境となっている。またその埋蔵量の多くは二つの発電所近傍に位置している。また同時に炭鉱掘削跡地は焼却灰の埋立地として利用されている。

Kosovo A & B TPP に供給される Lignite がすぐ近くの炭鉱（露天掘り）より供給されていること、および採掘の終わった場所が燃焼後の主灰、飛灰（水と混合して TPP より搬送）の最終処分場となっていることから、見学を実施した。

写真3-1、3-2に Kosovo A TPP の貯炭場および炭鉱からの Lignite 搬送コンベアおよび TPP からの灰輸送管を示す。貯炭場は貯蔵可能量が最大250,000トンで、夏場は100,000~150,000トン、冬場は各種トラブル対応のため、多目に貯蔵している（Kosovo A TPP の Lignite 消費量は約5,000ton/日・ボイラのため、ボイラ2基稼働で最大で約25日間分貯蔵可能）

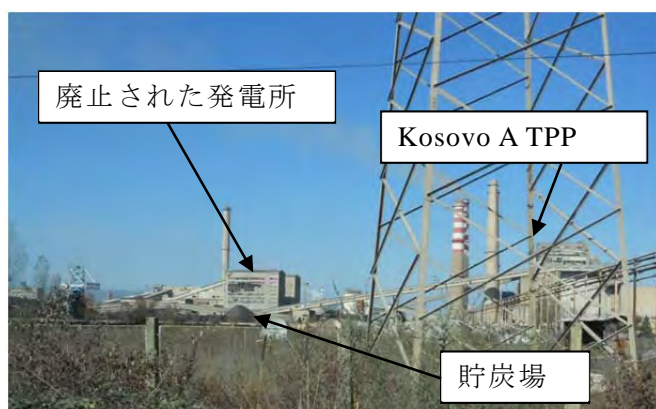


写真3-1 貯炭場

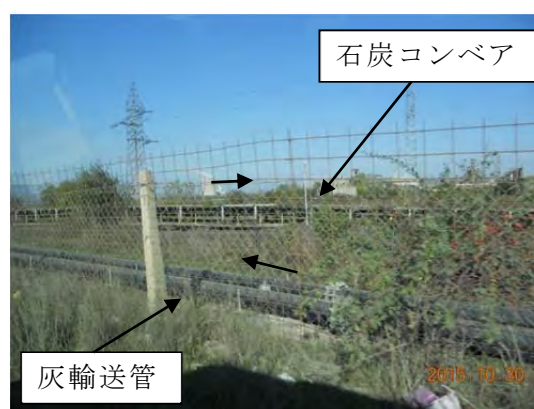


写真3-2 Lignite 搬送コンベアと灰輸送管

写真3-3に炭鉱の全容を示す。

右側がすでに採掘・埋戻しの終わった土地であり、この約1,000haの土地は今後農業に再利用していくとのことである。

写真の中央が2か月前に採掘が終わった部分、

その左側が現状埋戻し中の部分：埋め戻しには、これから Lignite を採掘する土地の表土を利用している。

写真左奥が現状採掘中の場所（写真3-4に別の方向から見た写真あり）

写真3-5が炉底灰、飛灰の埋立て場所の写真となっている。



写真 3 - 3 炭鉱全景

現状採掘中の場所は 2025 年まで採掘が可能である。環境に対しては十分な配慮を実施（水は外には流さない、きれいにして流す）しており、採掘の終わった場所は農業等に利用し、再利用を実施するとのことである。



写真 3 - 4 現状採掘中の場所

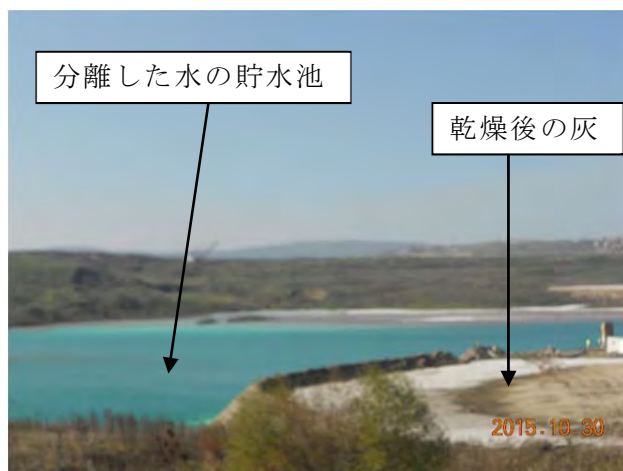


写真 3 - 5 炉底灰、飛灰の埋立地

3-2 Kosovo A 発電所の設備とその内容

3-2-1 概要

Kosovo A TPP は A-1～A-5 の 5 つの発電設備（煙突は各発電設備に一つずつ設置）を有しているが、現在は A-3～A-5 のみが稼働中であり、かつそのうちの 1 基は予備として待機している。A-1, A-2 は長期停止中である。

表 3-1～表 3-4 に発電所の仕様及び履歴を示す。



(1) 発電所の組織

国営のコソボエネルギー公社（KEK; Kosovo Energy Corporation）に所属し、従業員は 844 名で、8 つの Department からなり、その構成は次表のとおりである。

写真 3-6 Kosovo A 発電所外観

Department 名	構成員
Department for Production,	250
Department for Machinery Maintenance	270
Department for Maintenance of Electricity and Regulation	91
Department of Engineering	23
Department for Chemical Preparation of Water	75
Department for Work Safety and Fire Protection	65
Department for Business Support	22
Department for Chemical Separations	48

(2) 設備関係

- ① A-1 ; 1962 年に運転を開始した。出力 56MW のタービン・発電機はウェスティングハウス社製で、ボイラは独バブコック社製である。環境面からの要請で 2006 年より休止中である。
- ② A-2 ; 1964 年より運転を開始した。出力 125MW のタービン・発電機は GE (General Electric) 社製で、ボイラは独バブコック社製である。2000 年より休止中である。
- ③ A-3 ; 1970 年に運転を開始した。出力 200MW のタービン・発電機はロシア製で、ボイラはポーランド製である。現在稼働中で、通常 140～150MW で運転している。ドラムの蒸気圧 115kg/cm²g に減圧して運転（仕様は 152kg/cm²g）しているが、これはチューブ減肉による蒸気漏れが起こるための対応で、2014 年にはこの運転条件で 5 か月間問題なく連続稼働した。

- ④ A-4 ; 1971 年に運転を開始した。出力 200MW で A-3 と同一設計であり、1 年遅れで稼働した。
- ⑤ A-5 : 1975 年に運転を開始した。出力 210MW のタービン・発電機はロシア製で、ボイラはポーランド製である。A-3, A-4 と類似設計であるが、炉壁構造や、バーナ周りのダクトなど一部改善が行われている。
- ⑥ 2012 年に A-3 のタービンの、2014 年に A-4 のタービンの、2015 年に A-5 のタービン・発電機の改良を行っている。
- ⑦ A-1、A-2 は休止中ということになっており設備はそのまま残っているが、保守は行われておらず、実質的には廃止状態である。
- ⑧ A-3、A-4、A-5 については電力バランスの関係から 3 基のうち 2 基が稼働し、1 基は予備として運用している。

(3) 環境対策

環境対策として約 45 百万 Euro の投資をして、主に以下の 3 つの対策をおこなった。

- ① 灰処理対策として埋立地の確保（炭鉱の採掘跡地に埋戻し）
- ② 排ガスの煤塵対策として ESP を設置（2012 年に A-3、A-5 の ESP を、2013 年に A-4 の ESP を換装したが、保守要員の訓練ができておらず、また予備品の入手も困難で十分な保守ができないという問題をかかえている）
- ③ 灰の高濃度水スラリーによる搬送システムの構築。

(4) その他

- ① 発電所内で勤務している人数は関連会社等も含めて全体で約 800 人である。運転の勤務体制は 5 直 3 交代（労働時間が 40h/h に制限されている）で、ボイラでは 1 直に一人のスーパーバイザーが配置されており、運転員は、1 直につき 6 名程度である。
- ② これまでのトラブルとしてチューブからの蒸気漏れが多く、仕方なく蒸気圧力を下げて安定運転を目指している。原因は、磨耗、腐食によるチューブの減肉で、特に曲り管のところで蒸気漏れが頻発している。
- ③ Lignite は湿分 45%、Ash20%、S は変化するが 1.2%程度である。（注；発熱量が低いので、発熱量あたりは高 S 分である）
- ④ ボイラの運転操作は旧式の制御装置のままで、運転員の操作が必要である。Lignite 供給方法は、ミル 8 台にバーナ 8 台（各バーナは 3 段の構成）が 1 対 1 で配置されている。Lignite 中の水分が多いことから Lignite の乾燥のために高温の空気/ガスが必要で、ボイラの燃焼室内から 850℃の高温ガスの一部をミルに導入している。
- ⑤ A-5 の操作室は独立して配置されている。A-3、A-4 の操作室は一つの部屋に集合されており、制御盤はミラーのように左右対称の配置となっている。

3 - 2 - 2 Kosovo A 発電所運用状況調査結果

(1) Kosovo A ボイラの構造

- ① 火炉断面は 8 角形であるが、火炉の形が正八角形ではなく、幅方向が少し広い形をしている。（図 3 - 1）
- ② 火炉上部には横置型の 1 次～4 次過熱器が設置され、水平煙道には吊下型 2 次再熱

器、1次再熱器、後部煙道には節炭器が設置されている。(写真3-7)

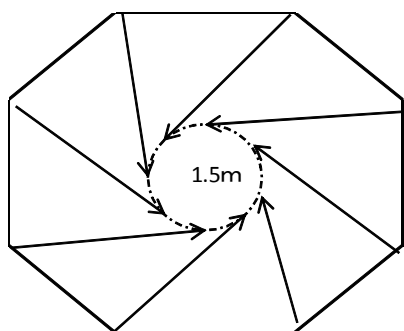


図3-1 火炉断面

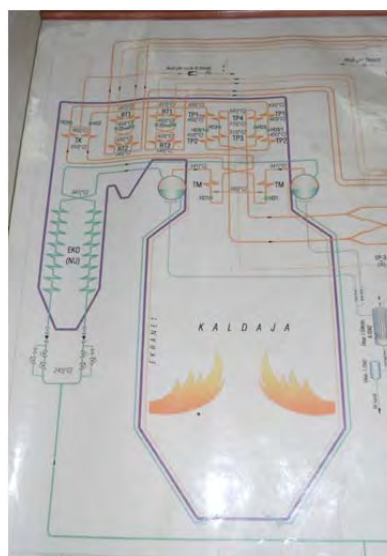


写真3-7 火炉側面

- ③ ミル（石炭粉砕機）は8台で、各40～60 t/hの粉砕能力を持つ。運転台数はLigniteの性状により異なり、現在の発電出力では、5～6台で運転している。
- ④ ミルの形式は、Ventilation Millで、遠心型通風機の羽根に耐摩耗ブロックを取付けたような形状をしており、誘引ファンの機能と、Ligniteの粉砕機能を備えているためにこの名前が付けられている。ミルでは、Ligniteを乾燥しながら粉砕するが、水分の多いLigniteを使用しているため、Ligniteの乾燥には高温の空気/ガスが必要となる。そこで、高温の燃焼ガスを火炉から吸引して空気と混合してMillに供給し、粉砕後の微粉炭の温度が170℃となるように調整している。粉砕した微粉炭は空気/ガスにより搬送されバーナへ送られる。なお、微粉炭管内は、火炉から導入した燃焼ガスと、Ligniteから蒸発した水分とで不活性雰囲気と保たれ、内部で微粉炭の着火や爆発が起こらないようにしている。Millの出口には粗粒分離機が設置されており、石炭粒子で0.6～0.8mmを超えるものは完全燃焼が難しいので、ここで分離されてMill入口に戻され、再度粉砕したのちバーナへ送られる。(図3-2 a)
- ⑤ バーナは3段になっており、1次空気（微粉炭と空気の混合物）をサンドイッチした配置で2次空気が投入される。(図3-2 b、写真3-8)

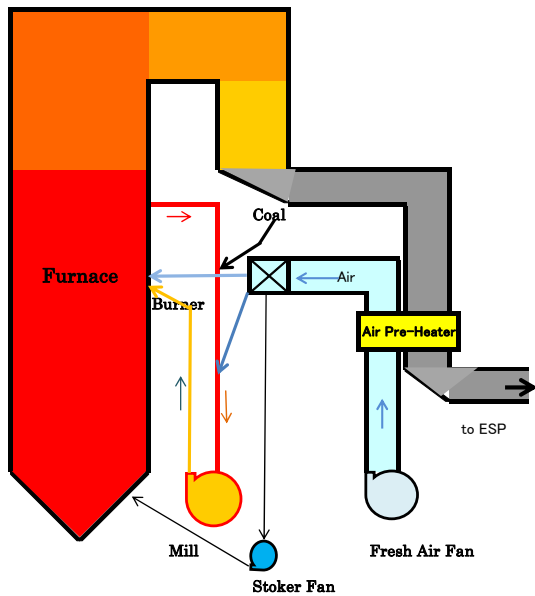


図 3-2 a 風煙道系統

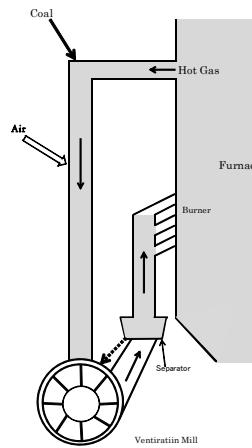


図 3-2 b Mill とバーナ

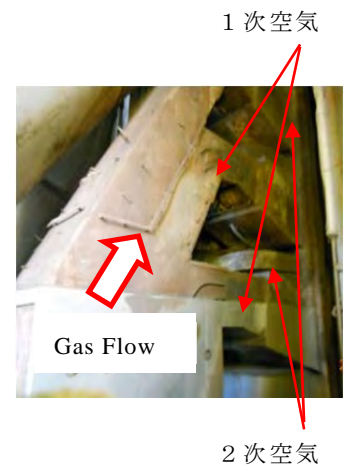
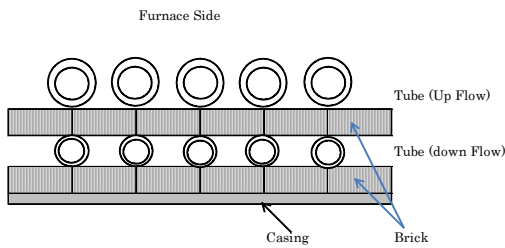
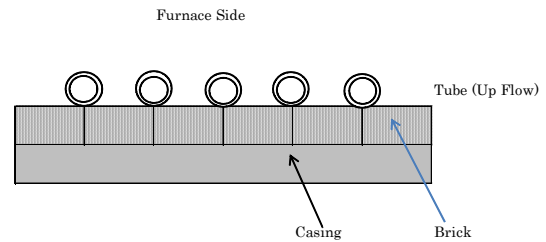


写真 3-8 バーナ

- ⑥ バーナの構造は A-5 ボイラと A-3, 4 ボイラで異なっており、A-5 ボイラは、各段への微粉炭量が均一になるよう、微粉炭管の分岐点にオリフィスを設け、分配量の調整ができるようになっているが、A-3, 4 ボイラでは、そのようなものが無かったので後で改造したとのことである。
- ⑦ 火炉から吸引した高温ガスに空気を混ぜてミル出口の温度が目標の温度になるように制御しているが、この空気は、空気予熱器を出た予熱空気である。なお、当初は高温ガスと空気を混合する場所がミル入口近くにあったので、上流から投入された石炭が高温ガスによって蒸し焼きになり溶融固着するトラブルが発生したが、Kosovo B ボイラのように、高温ガスと空気を混合する場所を石炭投入箇所よりも上流に移動させガス温度を均一にしてから石炭を投入することで問題はなくなった。
- ⑧ 炉壁の構造は、A-3、A-4 ボイラは同じで、配管 (Tube) が 2 重に配置されており、炉内側の配管は太く、内部の水は炉内からの熱で蒸発しながら上昇する。その背面に設置された配管内の水は熱を受けながら下降して炉底まで降りた後、炉内側の Tube につながって水が循環する構造となっている (図 3-3 a)。
- ⑨ A-5 ボイラの炉壁構造は、A-3、A-4 と異なり、水が下降する配管はなく上昇する Tube のみで、太い下降管が外部に設置されており、ここから炉壁管に水を分配して供給する構造となっている (この方式は大型のボイラで一般に採用されている方式である) (図 3-3 b)。



Furnace Wallの構造(A-3 & A-4)



Furnace Wallの構造(A-5)

図 3 - 3 a A-3、A-4 ボイラ炉壁

図 3 - 3 b A-5 ボイラ炉壁

- ⑩ ボイラ燃焼室炉底部には移動式ストーカが配置され、落下した大粒径の Lignite を燃焼させる構造となっている。
- ⑪ 空気予熱器出口のガスダクトの曲がり部には整流板は設置されておらず、また、ダクトの水平部には堆積した灰を排出するホップは設置されていない。Kosovo A TPP 側が A5 ボイラで確認した結果、灰の堆積は見られなかったとのことであるが、ESP 入口のガス流速を測定の結果、不均一な流速分布を示しており、ESP のダスト捕集性能に悪影響を及ぼしていると考えられる。
- ⑫ 空気予熱器への空気は、冬季は蒸気式空気予熱器で加熱したのち、再生式空気予熱器へ送るようにしている。(注；再生式空気予熱器の低温端での温度が低いとガス中の SO_3 が露点に達して硫酸となり熱交換用のエレメントが腐食する)

(2) 灰処理

- ① 炉底開口部には水封式のスクレーパコンベアが設置されており、この上部に設置された移動式ストーカで燃焼して出来た灰や、燃え残りの Lignite は炉底灰 (Bottom ash) としてベルトコンベア上に落下して、チェーン駆動のスクレーパによって掻き出される。掻き出された炉底灰は、ベルトコンベアで灰処理設備に送られる (図 3 - 4)。
- ② ESP で捕集された飛灰 (Fly Ash) は、ESP の下部ホップから、ロータリバルブを介して排出され、圧縮空気で搬送されて、一旦、バッファタンクに貯えられたのち、再び圧縮空気で灰処理設備に送られる (図 3 - 5)。

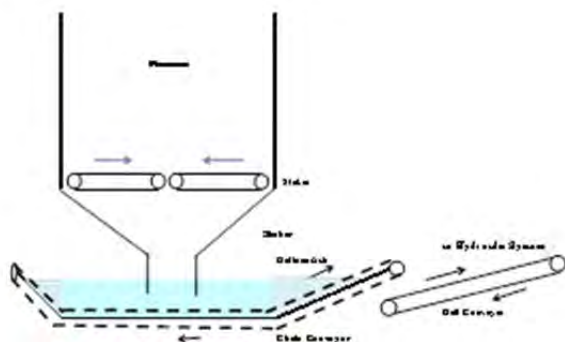


図 3 - 4 ボイラ炉底部

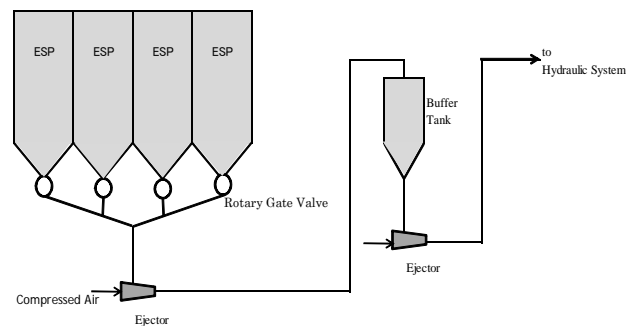


図 3 - 5 飛灰の搬出

- ③ 灰処理設備では、送られてきた炉底灰を適切な Size に粉砕したのち、飛灰および水と

混合して、水/灰の比率が 1/1 の高濃度スラリーをつくり、ポンプで昇圧して灰の処分先である炭鉱の掘削跡地へと搬送される。A-1, A-2 は旧式の搬送設備で、水/灰の比率が 10/1 の低濃度スラリーによる輸送方式で、水の消費量が多く、搬送の為の動力も多く要したが、現在 A-3～A-5 で使用しているものは、2014 年に設置した最新式のものである（写真 3－9）。

- ④ 灰捨て場に送られた Ash は乾燥すると、セメント状に固まり風によって飛散する事はない。

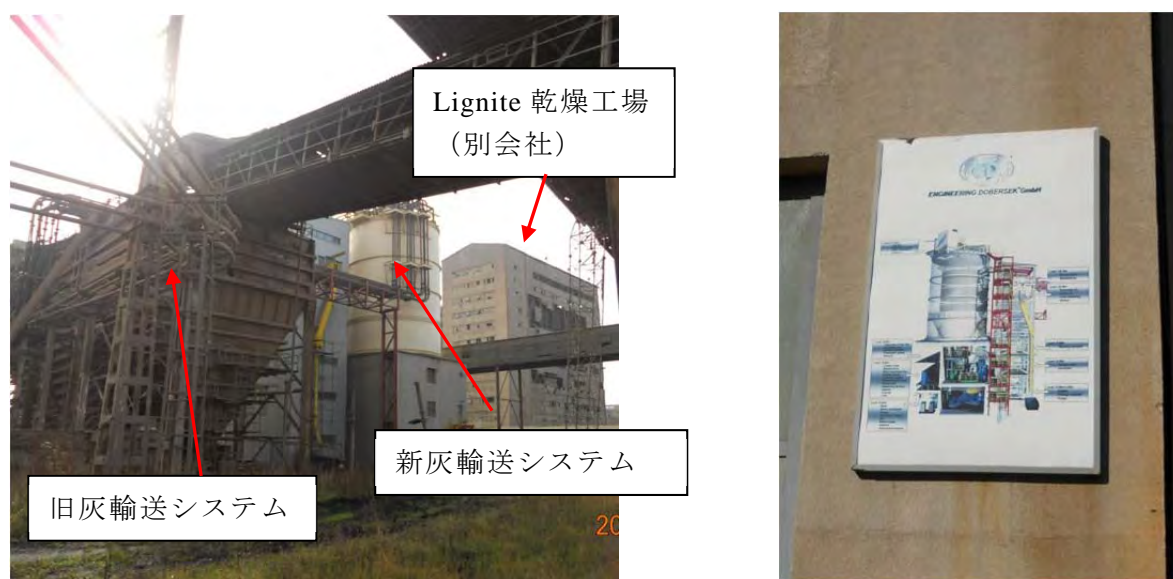


写真 3－9 Hydraulic Ash Transportation System

(3) その他

- ① ボイラの最高出力；仕様は 200MW であるが、上記のチューブ漏れの関係でドラム圧力を $110\text{k/cm}^2\text{g}$ に制限しており、通常は約 158MW 程度の一定の負荷で運転している。Lignite 専焼の最低負荷は 140MW 程度で Lignite 性状によっては 120MW も可能であるが、100MW まで下げると油による助燃が必要となる。
- ② ボイラの起動時間は約 4 時間で、油によって約 50 分間ボイラの昇温を行い、炉温が 350°C になったらミルを起動する。この時、タービンはまだ起動しておらず、ボイラで発生した蒸気は高圧タービンバイパスを通して再過熱器へ送られる。(実際には再過熱器へ送られてくる蒸気は少量で、再過熱器は空焚きの状態に近いので、チューブ温度が高くなり、材料劣化を起こしている可能性が高い。再過熱器管を更新後、50 時間で破損した例があり、これらが原因である可能性が高い)
- ③ 負荷変動は主に Kosovo B TPP が担当しており、Kosovo A TPP は、ほぼ一定の負荷で運転している。
- ④ 地域熱供給など、発電所外部への熱供給は行っておらず、ボイラで発生した蒸気は全て発電用に利用している。(Kosovo B TPP では外部への熱供給を実施している)
- ⑤ 現在ボイラ効率の定期的な確認などは行っていない。

- ⑥ ESP 出口の各ダクトにはダスト濃度計（光透過式）が設置されている（写真 3-10）。（常に $25\sim 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ を表示しているが、煙突からの煙がはっきり見えることから、実際のダスト濃度はもっと高い。）



Dust 濃度計（光照射側）
反対側に受光装置がある

写真 3-10 ESP 出口ダスト濃度計



写真 3-11 Kosovo A 発電所全景（左から A-1・・・A-5 号機）



写真 3-12a 右から A-2（休止中）、
A-3、A-4 号機



写真 3-12b 各ボイラに 3 基の ESP が
設置されている（A-3）

表 3 - 1 Kosovo A-3, 4, 5 ボイラの設計仕様

	Item	Unit	Description
1	Manufacturer Type		“RAFAKO” Poland OP - 650 -b
2	Year of Operation		A ₃ - 1970, A ₄ - 1971, A ₅ - 1975.
3	Boiler Height	m	60
4	Furnace Size (Width x Depth)	m	12.5/15.24
5	Type of Boiler		Natural Circulation Boiler with free semi-suspended construction, with two drums, with a natural circulation of water-steam scheme and with the removal of the bottom ash in the solid state.
6	Firing System		Pulverized Coal assisted by liquid fuel oil and with constant air blow.
7	Draft System		Forced Draft
8	Furnace Wall		Membrane
9	Furnace Bottom		Scraper Conveyer with water seal
10	Evaporation	T/h	650
11	Steam Temperature	°C	540
12	Steam Pressure	bar.	162 (FW)、152(Drum)、138(SH Out)
13	Feed Water Temperature	°C	Projected 240
14	Reheat Steam Flow	T/h	570
15	RH Inlet Steam Temperature	°C	357
16	RH Outlet Steam Temperature	°C	540
17	RH Outlet Steam Pressure	bar	25
18	Boiler Design Coal		Lignite
19	Coal Consumption	T/h	316
20	Ambient Air Condition (Temperature)	°C	-16 to 35
21	(Humidity)	%	60 - 90
22	Excess Air Ratio	%	30 - 50
23	Combustion Air Flow Rate	Nm ³ /h	855 000 Nm ³ /h
24	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-3to -5
25	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	-400
26	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-400
27	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O	-433
28	Burner Inlet Air Temperature	°C	270
29	Furnace Outlet Gas Temperature	°C	~ 1000
30	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	300
31	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	160 - 200

32	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C	160 - 195 (cannot be measured)
33	Stack Inlet Gas Temperature	°C	160 - 190 (cannot be measured)
34	Flue Gas Flow Rate	T/h	
35	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	6 to 10
36	O ₂ Content at Stack inlet	%	6 to 10
37	Type of Precipitator		Electro Static Precipitator
38	Dust Content (Precipitator inlet)	mg/Nm ³	41110
39	SO _x Content (Precipitator inlet)	ppm	NA
40	NO _x Content (Precipitator inlet)	ppm	NA
41	CO Content (Precipitator inlet)	ppm	NA
42	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³	50
43	SO _x Content (at Stack inlet)	ppm	NA
44	NO _x Content (at Stack inlet)	ppm	NA
45	CO Content (at Stack inlet)	ppm	NA
46	Boiler Efficiency	%	86.5
47	Plant Efficiency	%	31
48	Stack Size (Height, Diameter)	m	A ₃ and A ₄ , H=100.2 D _{mb} = 8.50/5.20 m A ₅ , H = 120.0 m D _{mb} = 9.64/6.00 m
49	Cooling System		Cooling Tower(Water source from river)

表 3 - 2 Kosovo A-3, 4, 5 電気集塵機的设计仕様

	Item	Unit	Description
1	Manufacturer Type		HAMON ENVIRONMENTAL GmbH "KOMPAKT PLUS"
2	Year of Operation		2012
3	Number per Boiler		3 Sets/Boiler
4	Number of Section		4 Room
5	Surface for cumulative electrodes	m ²	9728
6	Height	m	16
7	ESP Inlet Gas Flow	m ³ /h	716,784
8	ESP Inlet Gas Temperature	°C	150 - 210
9	Gas Velocity	m/s	1.41
10	ESP Draft Loss	mbar	(-30)
11	ESP Inlet Dust Content	g/Nm ³	41.110 (g/Nm ³)
12	ESP Outlet Gas Content	mg/Nm ³	50
13	Dust Collecting Efficiency	%	99.88

表 3 - 3 Kosovo A-3, 4, 5 蒸気タービンの設計仕様

	Item	Unit	Description
1	Manufacturer and Type		K-200-130-1 LMZ K-200-130-5 LMZ
2	Year of Operation		1970 (A-3), 1971 (A-4), 1975 (A-5)
3	Output	MW	200 MW (A-3, A-4), 210 MW (A-5)
4	Steam Flow	t/h	614 for 200 MW(A-3, A-4) 645 for 210 MW (A-5)
5	Steam Temperature	°C	535
6	Steam Turbine Efficiency	%	37.6

表 3 - 4 Kosovo A-1, 2, 3, 4, 5, 6 ボイラの履歴

Plant	Latest Condition	Remarks
Kosovo A-1	Constructed in (year) Disuse from (year)	1962 2006 – Last repair of the unit was performed in 1988. In the end the unit was stopped with 4 mills and load of 35 MW.
Kosovo A-2	Constructed in (year) Disuse from (year)	1965 First in 1998, as a result of frequent leakages in the boiler, especially in furnace tubes. In 2002 it worked for 10 days and the last load was 100 MW. When it was restarted after the failure of the unit, the transformer station for own consumption of the unit burned down. The major problems are: frequent leakages in the boiler, especially in the furnace tubes, the ash removal system, boiler drum and the condensation tubes with the cooler (spray water).
Kosovo A-3	Constructed in (year) ESP installed in (year)	1970 2012
Kosovo A-4	Constructed in (year) ESP installed in (year)	1971 2013
Kosovo A-5	Constructed in (year) ESP installed in (year)	1975 2012

3-3 Kosovo B 発電所の設備とその内容

3-3-1 概要

Kosovo B TPP は B1、B2 と二つの発電所を有しているが、二つの発電所の排ガスは合流後煙突 1 本で大気に放出されている。

表 3-5～表 3-8 に設備の仕様と履歴を示す。

(1) 発電所の組織

国営のコソボエネルギー公社
(KEK ; Kosovo Energy Corporation)
に所属し、従業員は629人で、
Engineering, Maintenance, Production、
Business Supportの 4 つの
Departmentからなっている。



写真 3-13 Kosovo B 発電所 外観

(2) 設備関係

- ① B1 と B2 は同一設計のプラントであり、B-1 は 1983 年に、B-2 は 1984 年に運転を開始した。ともに Kosovo A よりも新しいプラントである。定格出力はそれぞれ 339MW であるが、現状は出力 290～300MW（熱投入量では 850MW）で運転しており、発電効率は 33～35% である（設計仕様は 40%）。使用している Lignite は Kosovo A と同じものである。水は約 40 km 先の人工池（Ujman 湖）から供給されている。
- ② Lignite は Kosovo A TPP と同様に露天堀で掘削し、コンベヤーで運ばれてくる。
- ③ ボイラ、タービンの操作に関しては、2015 年に DCS (Distributed Control System) 化している。

(3) 環境関係

1999 年から約 175 百万 Euro の投資を行い、下記改造を実施した。

- ① 飛灰の水スラリーによる搬送システムの導入（灰は、以前発電所の横に盛土していたものを、4～5 km 先の炭鉱の採炭跡地に埋める）
 - ② ESP の設置（2003 年に設置し、仕様は出側ダスト濃度 260 mg/Nm³ であったが、B-1 はその後改造して ESP の出側ダスト濃度は 150 mg/Nm³ としている）
- なお、灰に関してはかなりの量がセメント会社へと販売されている(写真 3-14)。



写真 3 - 1 4 灰の搬送車

③ 環境モニタリング

煙突の 90m レベルには CEMs (Continuous Emission Monitoring system) のセンサが設置されており、NO_x、SO₂、O₂、Dust 濃度を計測している。このような高所にセンサを設置した理由は、1, 2号ボイラの排ガスの排出を、1つの煙突で共用していることから、両ボイラの排ガスの混合が十分に行われる事を意図したと思われる。しかしアクセスするためには、垂直の猿梯子を登る必要があり、非常に危険な作業となるため、2015年春頃から誰もメンテナンスをしなくなり、現在測定は実施されていない(写真3-15)。ただし、以前のデータを見るとダスト濃度を除けば、SO₂、NO_xなどは妥当な値を示しているように思われる。



写真 3 - 1 5 環境モニタリング機器及びその設置場所

3 - 3 - 2 Kosovo B 発電所運用状況調査

- ① ボイラ的设计条件は、主蒸気 ; 855t/h, 159 kg/cm² (156bar), 539°C、再熱蒸気 ; 760t/h, 528°C, 32.6kg/cm² (32bar)であり、タービンの材料費との関係で低い蒸気温度を採用している。
- ② ボイラは、フランスの Stain Industry 社製のタワー式ボイラで、ボイラ高さは 85.6m と非常に高く、日本の 1,000MW ボイラ級である。火炉壁管へのボイラ水の循環は強

制循環方式で、ドラムに代わりに水分離器 (Water Separator) が設置され、ボイラ循環ポンプ (Boiler Circulation Pump) で再循環させており、循環量は 1,100t/h で循環比は約 2 である。火炉の上部には、横置型の蒸発器、過熱器、再熱器、節炭器が設置されている。

- ③ 蒸気温度制御は、主蒸気、再熱蒸気とも、ボイラ給水ポンプから抽出した水を蒸気の減温器に注水するスプレ水制御である。このような方式の場合は、スプレ水は、タービンの高圧給水加熱器を通らないので、その分だけタービンからの高圧給水加熱器への抽気量が減ってタービン効率が悪くなる (日本の最新のボイラの蒸気温度制御は、主蒸気は燃料と給水の比率で制御し、再熱器は、再熱器と過熱器に流す燃焼ガス量の割合をダンパの調整によって変化させるダンパ制御方式を採用している)。
- ④ 節炭器を出た燃焼ガスは、ダクトを通過して下降し、ボイラ中段に設置された再生式空気予熱器で燃焼用空気と熱交換して 180℃程度まで温度が下げられ、ESP で除塵したのち、B-1, B-2 ボイラ共通の煙突に送られて排出される。
- ⑤ 過熱器用スプレ水は 240t/h と非常に多い。
- ⑥ 再過熱器出口温度は、低温 R/H 出口でスプレ水を注入して、高温再過熱器出口温度を制御している。
- ⑦ 高圧給水加熱器の調子が悪く、給水温度が 290~315℃から 180℃に低下する。その時には節炭器出口ガス温度設定は 316~350℃であるが、250℃まで下がる。
- ⑧ 空気予熱器(A/H)の低温エレメントの腐食防止のために、入口空気温度を高くする必要があり、蒸気式空気予熱器を設置する代わりに A/H 出口の予熱空気を押し込み送風機入口に戻して温度調整をしている。
- ⑨ 燃焼用空気を夏季は大気から吸引するが、冬季はボイラ室上部から吸引する。
- ⑩ ミルへは火炉から高温排ガスを吸引し、Lignite 投入量に応じて空気予熱器(A/H)出口の予熱空気を 1 次空気として混合すると同時に、ESP 出口の排ガスをファンで昇圧後混合して、石炭ミル出口の温度が 180℃となるように制御している。ミルは 8 台あるが常用は 5 台で、2 台が予備、1 台はメンテのための待機 (Lignite により羽根が摩耗するので、その対策のために補修が必要である) となっている。
- ⑪ バーナは 4 段で、各段の石炭バーナをサンドイッチする形で 2 次空気を投入している。火炉を出た燃焼ガス (950℃) は火炉上部の熱交換器により 800℃程度まで下げられて、一部はミルへ Lignite の乾燥のために取り出される。
- ⑫ Kosovo B TPP にはベルトコンベア上の Lignite の発熱量、水分を自動で計測する装置を設置しているとのことで確認したところ、全く役に立たず、今は使用していない。
- ⑬ 火炉の下部にはボイラ前後方向にストーカが 2 台設置されており、粒径が大きいために燃え残って落下した微粉炭を燃焼させている。2 台のストーカはボイラの中心に向けて移動し、燃焼灰はボイラ中央の炉底に設けられた浸漬式 スクレーパコンベアで炉底灰として排出される。
- ⑭ ESP 入口の灰を空気予熱器下のホッパから採取しようとしたが、詰まっていた採取できなかった。空気予熱器下のダクトには、砂状の炉底灰と似た粒径のものが溜まっているとのことである。ガス流速測定の結果、ESP 入側では流速分布が非常に偏っ

ていたが、その原因として、ダクト形状（急角度のベンド）、ダクト内での灰の堆積や、ダクト内の補強材やガイドベーンの配置といったものが考えられる。

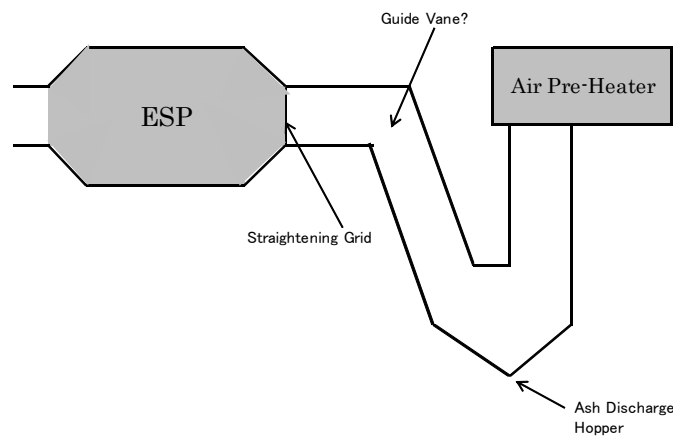


図 3 - 6 ESP 入側ダクト形状

表 3 - 5 Kosovo B-1, 2 ボイラの設計仕様

	Item	Unit	Description
1	Manufacturer Type		Stein industri Tower Type
2	Year of Operation		1983/1984
3	Boiler Height		96 m
4	Furnace Size (Width x Depth)		15.75 x15.38 m
5	Type of Boiler		Forced Circulation
6	Firing System		Pulverized Coal assisted by liquid fuel oil and with constant air blow.
7	Draft System		Forced draft
8	Furnace Wall		Membrane
9	Furnace Bottom		Scraper Conveyer with water seal
10	Evaporation	T/h	1000T/h
11	Steam Temperature	°C	540°C
12	Steam Pressure	bar.	174bar. (for 339MW)
13	Feed Water Temperature	°C	251°C
14	Reheat Steam Flow	T/h	895 T/h
15	RH Inlet Steam Temperature	°C	336°C
16	RH Outlet Steam Temperature	°C	480°C
17	RH Outlet Steam Pressure	bar	42 bar
18	Boiler Design Coal		Lignite
19	Coal Consumption	T/h	1.3 ton lignite/1MW
20	Ambient Air Condition (Temperature)	°C	24-40 ⁰ C
21	(Humidity)	%	
22	Excess Air Ratio	%	
23	Combustion Air Flow Rate	Nm ³ /h	1.813.800 Nm ³ /h (Flow of gases at the boiler outlet.
24	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-5 - -20 mmH ₂ O
25	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	NA
26	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	NA
27	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O	NA
28	Burner Inlet Air Temperature	°C	
29	Furnace Outlet Gas Temperature	°C	
30	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	
31	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	NA
32	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C	NA
33	Stack Inlet Gas Temperature	°C	
34	Flue Gas Flow Rate	T/h	
35	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	

36	O ₂ Content at Stack inlet	%	
37	Type of Precipitator		Electro Static Precipitator
38	Dust Content (Precipitator inlet)	mg/Nm ³	NA
39	SO _x Content (Precipitator inlet)	ppm	NA
40	NO _x Content (Precipitator inlet)	ppm	NA
41	CO Content (Precipitator inlet)	ppm	NA
42	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³	
43	SO _x Content (at Stack inlet)	ppm	
44	NO _x Content (at Stack inlet)	ppm	
45	CO Content (at Stack inlet)	ppm	
46	Boiler Efficiency	%	89.95% (LHV base)
47	Plant Efficiency	%	
48	Flue Gas Duct Size (Width x Depth)	m	D=12 m
49	Stack Size (Height, Diameter)	m	H=210 m
50	Cooling System		Cooling Tower(Water source from Lake)

表 3 - 6 Kosovo B-1, 2 電気集塵機の設計仕様

	Item	Unit	Description
1	Manufacturer Type		Alstom
2	Year of Operation	year	1983
3	Number per Boiler		2
4	Number of Section		8
5	Surface for cumulative electrodes	m ²	19.448m ²
6	Height	m	10.7m
7	ESP Inlet Gas Flow (filtering capacity)	Nm ³ /h	2x2000000Nm ³ /h
8	ESP Inlet Gas Temperature	°C	160°C
9	Gas Velocity through ESP	m/s	1.8 m/s
10	ESP Draft Loss	mbar	
11	ESP Inlet Dust Content	g/Nm ³	30 g/Nm ³
12	ESP Outlet Gas Content	mg/Nm ³	
13	Dust Collecting Efficiency	%	99.14%

表 3 - 7 Kosovo B-1, 2 蒸気タービンの設計仕様

	Item	Unit	Description
1	Manufacturer and Type		Stein industri
2	Year of Operation	year	1983 (B-1), 1984 (B-2)
3	Output	MW	339MW
4	Steam Flow	t/h	1000t/h at 339MW
5	Steam Temperature	°C	540°C
6	Steam Turbine Efficiency	%	44.7%
7	Cooling system of Condenser		Cooling towers (wet type)

表 3 - 8 Kosovo B-1, 2 ボイラの履歴

Unit	Latest Condition	Remarks
Kosovo B-1	Constructed in (year)	1983
	ESP installed in (year)	1983
Kosovo B-2	Constructed in (year)	1984
	ESP installed in (year)	1084

第4章 煙道排ガス測定とその評価

煙道排ガス測定技術は、煙道排ガスの排出値を測定・監視するために必要な技術である。コソボでは煙道排ガス測定技術がまだ確立しておらず、本業務では JET により煙道排ガス測定技術の移転を行い、コソボ側の同測定に関する理解を深め、技術の向上をはかることを成果の目標としている。また、EC 指令においても大型固定発生源（Large Combustion Plant : LCP）からの排ガス連続監視・測定が義務付けられており、測定技術をマスターすることが必要となる。

本派遣ではデモンストレーションを兼ねて Kosovo A TPP および Kosovo B TPP における測定を実施した。測定対象はダスト濃度、SO₂、NO_x であるが、第1次派遣では SO₂、NO_x 測定用の自動連続測定機器が間に合わなかったことから、3種類の測定対象物質の中で最も測定が難しく技術習得に時間のかかるダスト濃度を中心に実施し、SO₂、NO_x に関しては正確な測定はできないものの、検知管を使用した簡易測定を実施した。

第2次派遣では再度ダスト濃度測定を実施するとともに、SO₂、NO_x 測定用の自動連続測定機器を持ち込み、SO₂、NO_x の連続測定を実施した。

NERP 策定への対応として測定結果が必要であることから、デモンストレーションを兼ねて煙道排ガス排出値の測定を優先した。測定技術の移転としては、第1次派遣では、ダスト濃度測定のデモンストレーションのみとなったが、第1次派遣後にダスト濃度測定の手順書（SOP）を提供し、第2次派遣ではダスト濃度測定の OJT を実施するとともに、自動連続測定機器を持ち込み、SO₂、NO_x の測定および OJT を実施した。

別添資料にダスト濃度、SO₂、NO_x を測定するために持ち込んだ機器リストを示す。

4-1 EC 指令による監視・測定に関する規定

EC 指令では監視・測定に関して、以下の事項を要求している。

- ① LCP のダスト濃度、SO₂、NO_x を連続的に監視し、その結果を報告すること
燃料の種類や規模によって異なるものの、時間平均値、日平均値、月平均値等の上限を明確に提示し、CEMs（Continuous Emission Monitoring system）を設置しこれらの値を監視・管理することを要求している。また、CEMs は定期的な検定・校正を実施することも定められている。
- ② 連続分析については1年に1回は別の分析方法（Reference method¹⁰）で確認すること
ダスト濃度、SO₂、NO_x について、CEMs の数値を確認するために、Reference method による分析技術をマスターする必要がある。本業務では、ダスト濃度測定が Reference method に相応しているが、SO₂、NO_x については自動連続測定機器の提供のみであるため、今後さらに Reference method に相応する分析方法の習得が必要である。
- ③ Lignite を燃焼している場合は、1年に1回煙道排ガス中の総水銀の排出量を測定すること。
本業務では水銀の測定は対象としておらず、今後の対応が必要である。

以上の要求事項の中で、今回の業務はダスト濃度、SO₂、NO_x の測定を対象としている。

なお、②の項目で別の方法による分析を規定しているのは、CEMs による SO₂、NO_x 測定の場合、標準ガスを使用して定期的に測定範囲の80%から100%の標準ガス及びゼロガス（窒素100%）

¹⁰ Reference method については“Technical Guidance Note (Monitoring) M2 ; Monitoring of stack emission to air Environmental Agency Version 11 November 2015”に記載されている例がある。

で確認するが、測定方法（測定原理）によっては排ガス中に正確な値の検出を妨害する成分が存在することがあり、こういった妨害成分の影響を排除した測定方法で測定することを求めていると考えられる。

ダスト濃度の連続測定では、一般的に光散乱式といった測定方法が使用され、これはダストの色、形、形状といった性状に大きく影響される測定方法であるが、SO₂、NO_xに使用するような標準ガスに相当するものはなく、今回技術移転を目指すダスト濃度測定法（JIS 法）が唯一の確認方法となり、特にダスト濃度測定技術の習得は重要な項目となる。

4-2 Kosovo A 発電所における測定およびその測定結果

4-2-1 測定場所について

図4-1にKosovo A ボイラのESP系統図を示す。また、写真4-1にESPの入側・出側の計測座を示す。

予定との大きな相違点として、各ボイラにつき1つのESPが設置されていると想定していたが、実際には一つのボイラに3つのESPが設置されており、測定点が大幅に増加することとなった。

第1次派遣時は、Kosovo A TPP ではA-3 ボイラとA-5 ボイラが稼働中であり、A-4 ボイラは待機状態であった。そのため、A-3 ボイラとA-5 ボイラを測定対象とした。

第2次派遣時は、A-3 ボイラとA-4 ボイラが稼働中であり、この二つのボイラを測定対象とした。

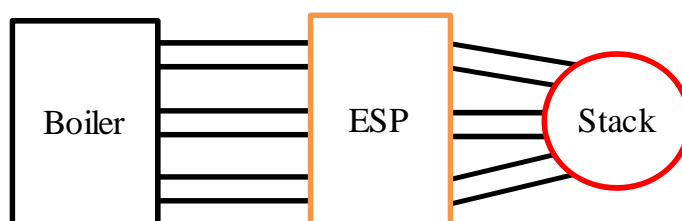


図4-1 Kosovo A ボイラのESP系統図



写真4-1a ESP入側ダクト計測座



写真4-1b ESP出側ダクト計測座

ボイラでのダスト濃度測定位置を図4-2に示すが、入側・出側ともにダクトの曲りの直前・直後といった測定に対しては最悪の位置であり、ダクト内にかかなりの偏流が予想され、正

確な測定は難しいと推定されたが、他に選択肢もないことからこの場所で測定を実施することとした。特に入側は写真からもわかるように直線部もほとんどなく、正確な測定は難しい場所であった。

第1次派遣ではESP入側・出側で流速分布およびダスト濃度測定を実施した。第2次派遣では入側では流速分布のみの測定とし、出側では流速分布およびダスト濃度測定を実施した。また、第2次派遣時では持ち込んだ自動連続測定機器により出側でSO₂、NO_xの連続測定を実施した。

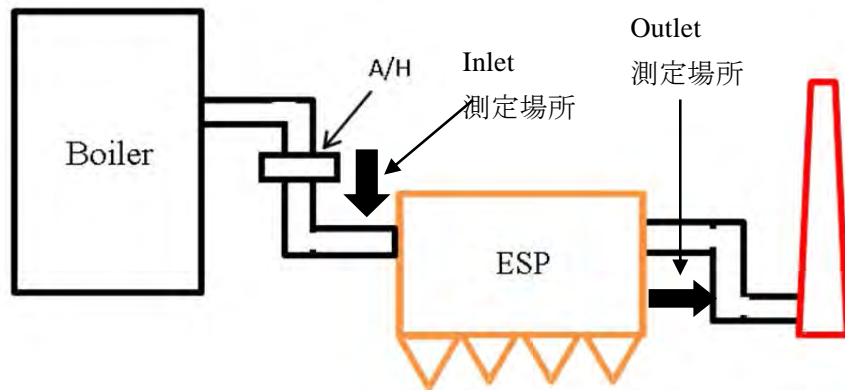


図4-2 測定場所の縦断面のイメージ

第1次派遣では既述のように、測定点が多いこと、測定が難しい場所であることから、1日目に測定トライアルを実施し、測定点数を絞り込み、2日目以降に本格的な測定を実施することとした。

測定点はESP入側、出側ともに場所が狭く、特に入側は場所も狭隘で、浮遊ダストも多くかつ熱いといった場所であり、健康面、安全面での配慮が必要で、健康面ではマスクを着用して作業し、安全面では作業中は命綱（安全帯）を使用し十分な安全対策をとって測定した。



写真4-2a 入側測定の様子



写真4-2b 出側測定の様子

4-2-2 測定結果

(1) 第1次派遣時測定結果

2015年10月26日にダスト関連の測定機器を持ち込みA-5ボイラにおいて、測定の準備

およびいくつかのポイントでトライアルとしてダスト濃度測定を実施した。最終的に、10月27日および10月29日にそれぞれA-5ボイラ、A-3ボイラのダスト濃度測定を実施した

図4-3、図4-4にA-5ボイラ及びA-3ボイラの測定結果のまとめを示す。また、付属資料には測定時のボイラ運転条件、煙道排ガス測定データの結果、および測定データの詳細を示す。測定中A-5は158Mwと安定した発電量を保ち、A-3も128~135MWと比較的安定な運転を実施していた。

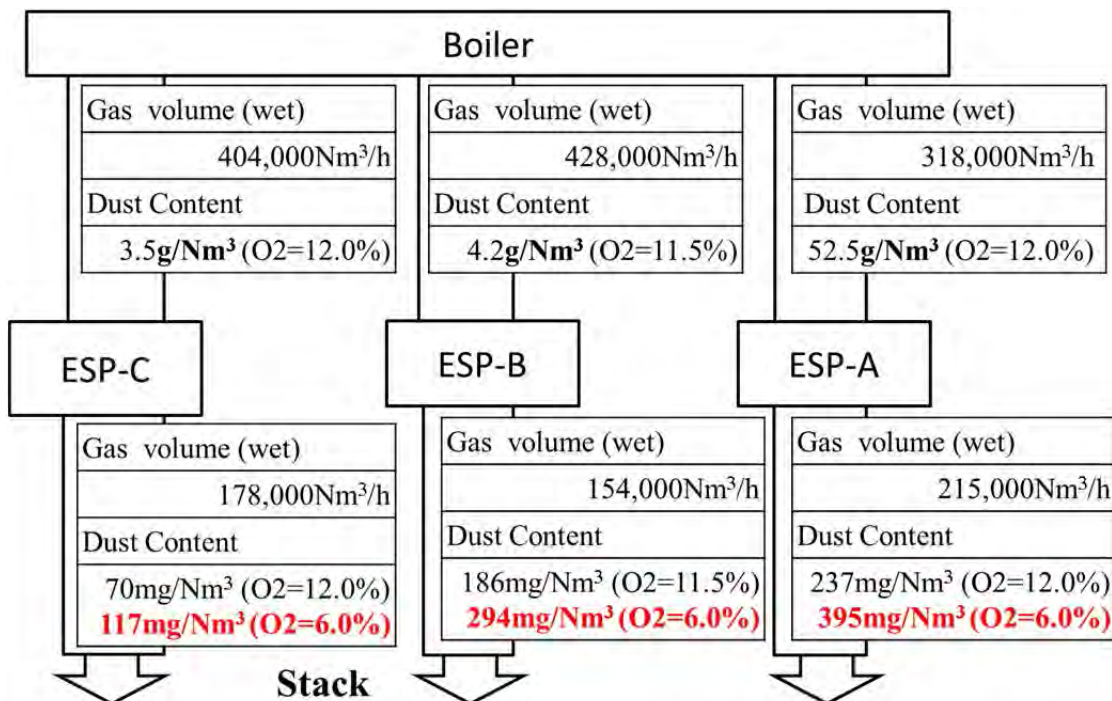


図4-3 Kosovo A A-5ボイラ測定結果

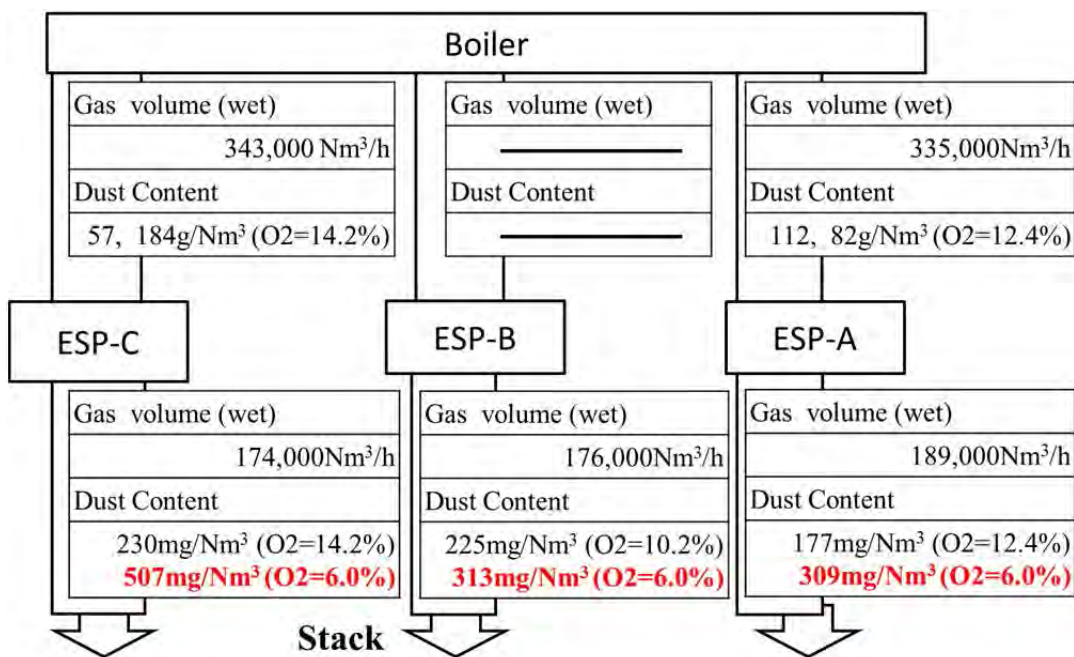


図4-4 Kosovo A A-3ボイラ測定結果

設備の最終排出ダスト濃度は EC 指令に沿って、排ガス $O_2=6\%$ 換算 (Solid Fuel の場合) の数値も示している (赤字)。また、A-3 ボイラ測定時には中央の押込通風機は停止していたが、ボイラの排ガスダクトは A~C の ESP の前で一体になっていることから、出側については A,B,C とも測定を実施している。

以上のような測定結果となったが、以下の課題が残った。

1) 排ガス量が異なる

- ① Lignite の分析値を正確に知る必要はあるが、Lignite の燃焼量を基にした推定ではトータル $800,000\text{Nm}^3/\text{h}$ 程度の排ガス量が予想されるのに対し、入側では排ガス量が多めに、出側では少なめに計測された。
- ② 測定した結果から (A-5、A-3 ともに) 入側のガス量が出側排ガス量よりも圧倒的に多く計測されている。

このような矛盾があり、日本に持ち帰った Lignite の分析結果に基づいて計算した排ガス量と測定値との差はやはり大きく、ダクト内の偏流が測定に大きく影響しているといった問題が考えられる。付属資料に測定時の流速分布を示すが、流速のばらつきは非常に大きく、入側・出側ともに流れが非常に不均一になっている。流速を検出できない場所や変動の大きい場所もあり、正確な測定は難しいといった面があった。

2) 場所によってダスト濃度が大きく異なる。

- ① A-5 測定時に深さ方向を変更した場合(付属資料参照)、ダスト含有量が大きく異なったため、A-3 測定時には各々のダクトに対し深さ方向に 2 点測定を実施した。測定ごとに大きく測定値が変化した。
- ② ESP 入側のダスト濃度が計算値より大きく上回っている (Lignite の灰分から計算した数値(約 $40\text{g}/\text{Nm}^3$) よりもはるかに大きな (約 2~3 倍) 数値となっており、測定値の信頼性を損なう結果となった。
- ③ 出側についてもダスト濃度測定のトライアル時に深さ方向でダスト濃度が異なることを確認したため、深さ方向に 3 点を均等時間サンプリングするといった方法を取り、なるべく平均値を算出できるようにした。

以上のような方法をとったが、過去のデータもなく正誤を確認するための比較ができないことから、今後データを蓄積してさらに正しい排ガス量およびダスト濃度を測定することが求められる。

3) その他

- ① 第 1 次派遣では自動連続測定機器を持ち込めなかったため、 SO_2 、 NO_x について検知管を使用して簡易測定を実施した。その結果、 NO_x については $300\sim 400\text{ppm}$ ($700\sim 800\text{ mg}/\text{Nm}^3$) といった予想通りの結果が出たが、 SO_2 については全く検出されないか、検出されても 100ppm ($300\text{ mg}/\text{Nm}^3$) 程度であった。Lignite 中の CaO の値が高いことから炉内脱硫の可能性もあるため、灰のサンプルを持ち帰り日本で分析することとした。最終的な値については第 2 次派遣での自動連続測定機器を使用した測定結果を待つこととした。
- ② 排ガス中 O_2 濃度については今回気温が低いことからオルザットによる測定の代わりに、簡易型ポータブルガス分析計 (Testo : O_2 、CO 計) による分析を採

用した（気温が低いとオルザットで使用する O_2 吸収液が O_2 を十分に吸収できないため）。その結果、測定では各場所で 11~13%の値を示したが、一方で操作室内にある O_2 計は 6~7%しか示していなかった。空気予熱器での空気漏えいが非常に大きいものと考えられる。

以上のような測定結果となったが、Kosovo A TPP の担当者とも議論をし、次回の測定時に測定場所を絞りさらに詳細な測定（深さ方向の測定点の増加等）を実施し、測定精度を高めることとした。

第 1 次派遣時での Kosovo A ボイラのダスト濃度測定では、データ採取を優先し、デモンストレーション主体の作業となった。測定時には初めてダスト濃度測定装置や作業を見るといった C/P も多く、多くの関係者が訪れ、作業を見守った。



写真 4 - 3 a 測定前の打ち合わせ



写真 4 - 3 b 測定時の様子

第 1 次派遣時のダスト濃度測定の課題として、測定された排ガス量と計算上の排ガス量の差が大きく、ダスト濃度測定結果の信頼性を少なからず損なう結果となった。測定場所が悪いという課題はあるものの、第 2 次派遣時には、測定点を増やして排ガス量の整合性をとる必要があると認識された。

(2) 第 2 次派遣測定結果

第 2 次派遣では、煙突からの排出値を把握することを目的としてダスト濃度測定は ESP 出側のみの測定としたが、排ガス流速測定は ESP 入側・出側両方で実施した。排ガス流速、ダスト濃度ともに測定点を増やし測定精度を上げることにした。また持ち込んだ自動連続測定機器により、 SO_2 、 NO_x の連続測定を実施した。 SO_2 、 NO_x については排ガス O_2 補正 ($O_2=6\%$ 換算) をすれば入側・出側で数値に変化がないことから出側のみの測定とした。

ダスト濃度測定の結果を図 4 - 5、図 4 - 6 に示す。また、付属資料に測定時のボイラ運転条件、煙道排ガス測定データの結果、および測定データの詳細を示す。測定中 A-4 は 120~130Mw と、A-3 も 137~145MW と安定な運転を実施していた。

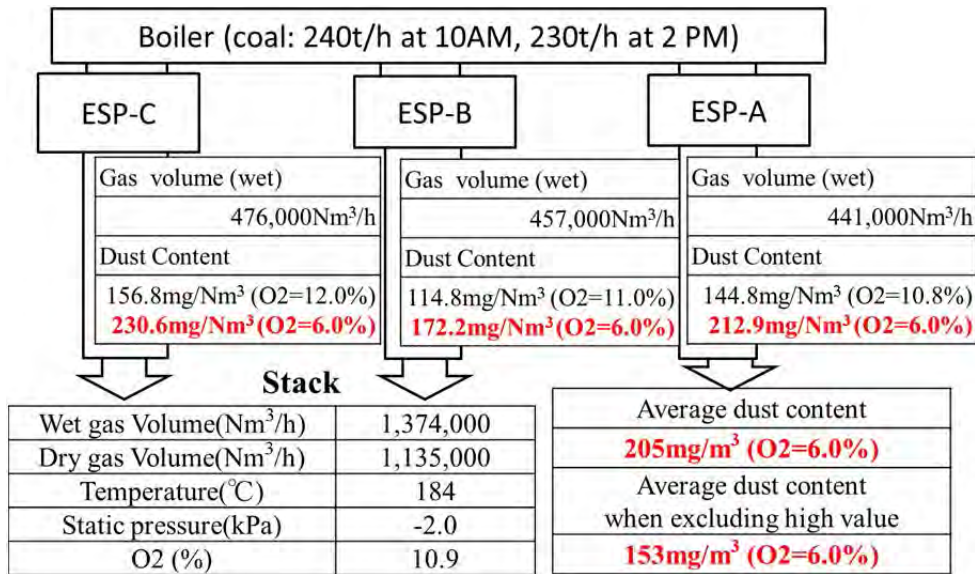


図 4-5 Kosovo A A-4 ボイラ測定結果 (3月10日)

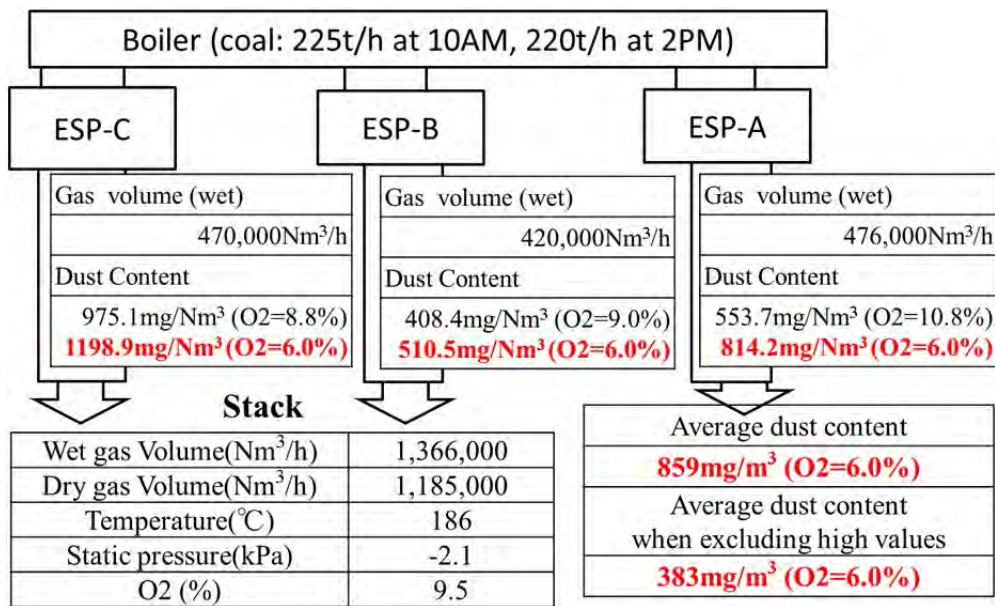


図 4-6 Kosovo A A-3 ボイラ測定結果 (3月11日)

測定結果は前述と同様に O₂=6%換算のダスト濃度を赤字で示した。ただしダスト濃度は付属資料に示すようにばらつきが大きく、そのため濃度の単純平均の値 (Average dust content) と、異常に高い値を除いた平均値 (Average dust content excluding high values) の2種類を示した。

第1次派遣、第2次派遣を通してのダスト濃度は平均すると 300~400mg/Nm³程度であったが、異常に高い値を示すケースもあり、本当の平均値を特定できる状況とはならなかった。ダスト濃度測定結果に関しては以下のようにまとめられる。

- 1) 付属資料に示すように第1次派遣のダスト濃度測定では測定点が少なく不明であったが、第2次派遣時の測定結果では測定点を増やした結果、ダスト濃度に大きなば

らつきを確認することができた。同じダクト内でも測定場所によってダスト濃度が異なっている。異常に高い値が出る理由としてボイラチューブのストロー、ESP内の集塵板のハンマリングの影響も考えられる。今後測定を継続するに当たり、平均値を示す代表測定点を特定し、1ヵ所で測定することが望まれる。これは特にCEMsによる測定においても重要な項目である。今回測定を実施した場所はダクト内でダスト濃度のばらつきが大きく、代表的な値を表す測定点を特定することは難しいことが分かった。そのため、代表性を示す測定場所を別途選択することが必要である。

- 2) 第1次派遣時に議論になった計算排ガス量と測定排ガス量の差について確認するために第2次派遣時にA-4ボイラを対象に入側の排ガス量測定を実施した。詳細は付属資料に示すが、今回の測定では以下の結果となった。

A-4ボイラ入側測定排ガス量（付属資料より）

湿り排ガス量：1,168,000Nm³/h、乾き排ガス量：976,000Nm³/h（排ガスO₂=10.1%）

A-4ボイラ出側測定排ガス量（図4-5より）

湿排ガス量：1,374,000Nm³/h、乾排ガス量：1,135,000Nm³/h（排ガスO₂=10.9%）

となり、入側乾き排ガス量を排ガスO₂により補正して出側乾き排ガス量を計算すると1,052,000 Nm³/hとなり1割程度の誤差で収まることからESP入側・出側の排ガス量はよい一致を示したと言える。また、計算排ガス量も前回サンプルしたLigniteの分析値(後述するA-3ボイラからの分析値)をもとに算出した値をもとに計算すると

A-4ボイラ出側計算排ガス量

湿り排ガス量：1,326,000Nm³/h、乾き排ガス量：1,138,000Nm³/h（排ガスO₂=10.9%）

となり、計算排ガス量ともよく一致した結果となった。

第2次派遣では、測定点を増やして精度を上げた結果よい一致を示したが、この理由は付属資料に示すようにダクト内に大きな流速分布が存在しているためと考えられる。流速分布のばらつきが大きいことから今回の測定点は代表点を特定することは難しく、別の測定場所を特定することが必要であると考えられる。

第2次派遣時では連続分析計を持ち込み、SO₂、NO_xの測定を実施した。図4-7にその測定結果の1例を示す（今回全測定データは付属資料に示す）。

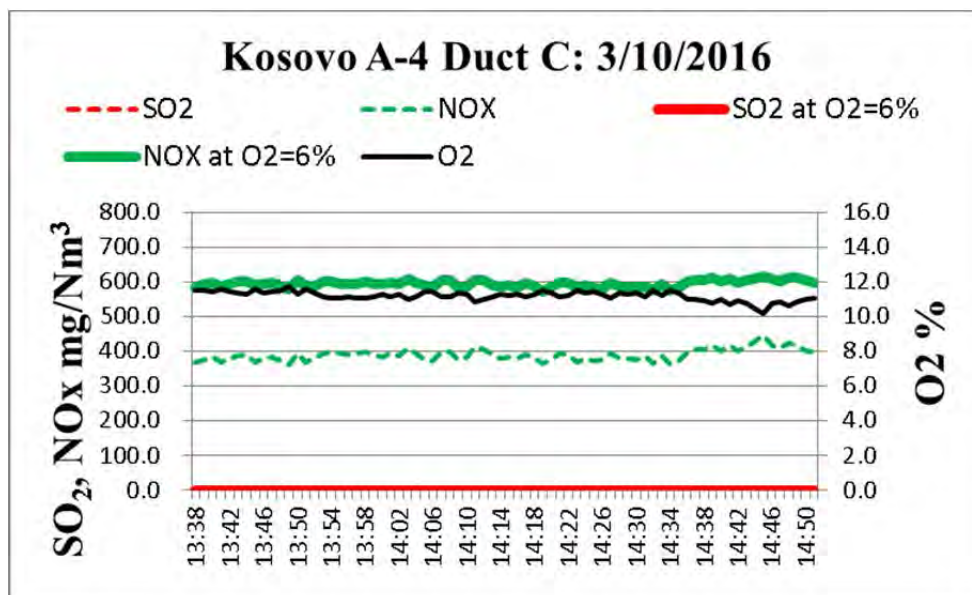
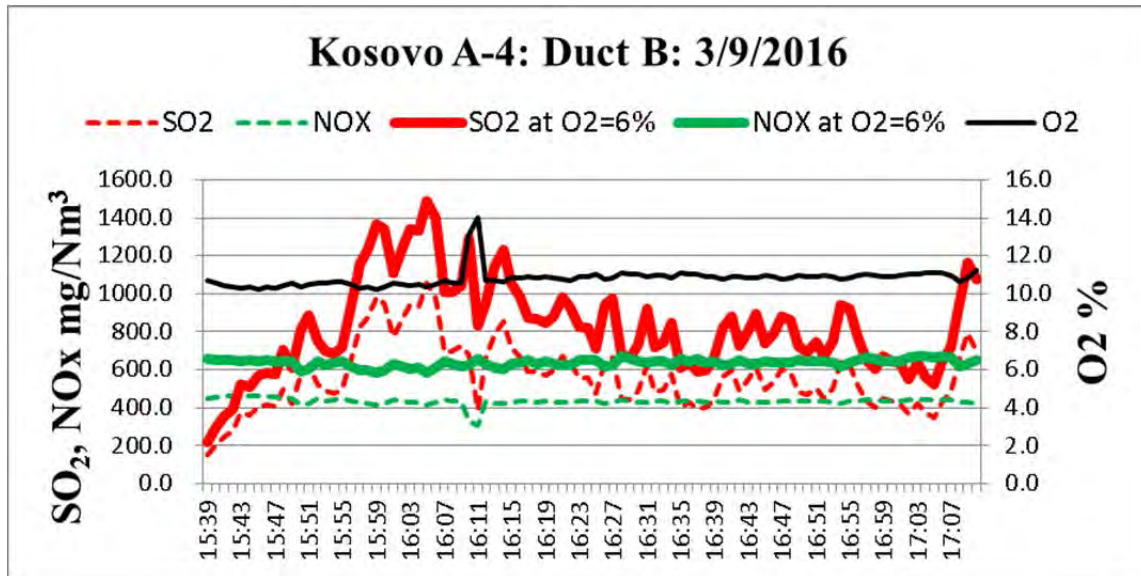


図 4-7 Kosovo A ボイラにおける SO₂ と NO_x の挙動の 1 例

特徴は以下のようなになる。

- NO_x 濃度 (O₂=6%換算) は常に 700~800 mg/Nm³ と安定している。
- SO₂ 濃度 (O₂=6%換算) は 0 mg/Nm³ を示すときもあれば、1,000 mg/Nm³ を超えることもあり、大きく変動している。測定の期間中 50%以上の時間は SO₂=0 mg/Nm³ を示していた。
- Kosovo A のボイラは各々 3つのダクト (ESP) を有するが、測定対象となるダクトを移動すると、SO₂ 濃度が変わるといった現象も観察された (付属資料参照)。ボイラ内の場所により SO₂ 濃度が変化する可能性も否定できない。

以上の結果から、NO_x 濃度は ELVs を超過しており、対策が必要であることが分かった。一方、SO₂ 濃度は変動が大きく、通常のボイラでは考えにくい現象を示しており、したがって平均的な排出値を提示することは困難であると同時に場所によって濃度が異なる可

能性もあり、今後、測定の継続が必要であると同時に、この変動の現象を解明できれば、最適な脱硫装置の設計ができる可能性があることを示唆した。

4-3 Kosovo B 発電所における測定およびその測定結果

4-3-1 測定場所について

Kosovo B 発電所は B1、B2 の二つのボイラを有しており、図 4-8 に示すように一つのボイラに 2 つの ESP が設置されている。さらに煙突では 2 つのボイラの排ガスが合流し、最終的には 1 本の煙突で排ガスが排出される。

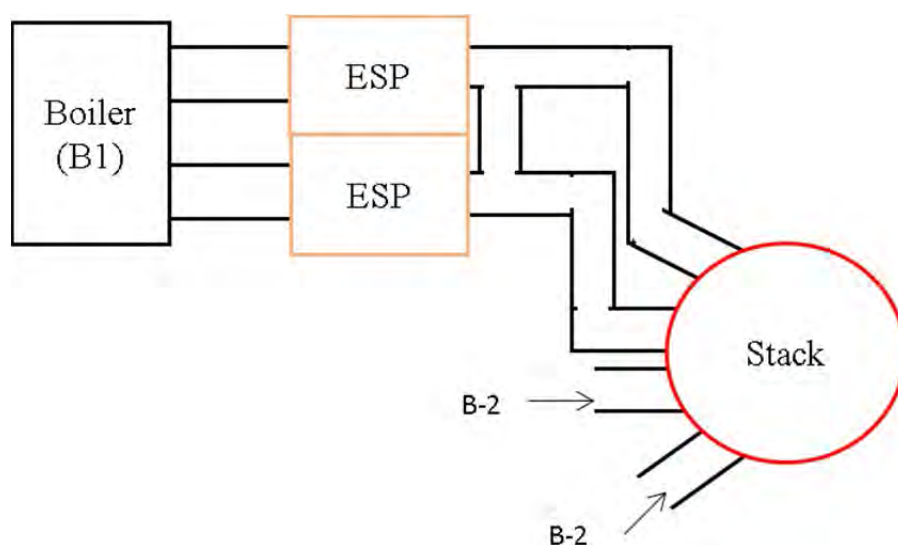


図 4-8 Kosovo B ボイラの排ガス系統図

第 1 次派遣では、ダスト濃度測定は 2 基あるボイラのうち、Kosovo B1 ボイラを、第 2 次派遣時は Kosovo B2 ボイラを対象として実施した。また、第 2 次派遣時には Kosovo A ボイラと同様に SO₂ と NO_x の連続測定を実施した。

写真 4-4 に ESP 入側・出側の計測座の写真を、図 4-9 には ESP 入側・出側の計測座の位置を示す。ESP 入側には 1 インチ程度の計測座しかなかったため、測定対象となる Kosovo B1、B2 ボイラの立ちあがりダクト部にダクトの幅方向 6 か所、新たに計測座を設けるよう要請し設置した。ESP 出側については新たに仮設足場を設置した。ただし出側計測座の仮設足場は、奥行きがなく測定時の長物（ピトー管、ダストサンプリング管）のハンドリングに困難さを伴った。



写真 4 - 4 a ESP 入側ダクト計測座



写真 4 - 4 b ESP 出側ダクト計測座

測定位置の縦方向の関係は図 4 - 9 に示すような位置であった。

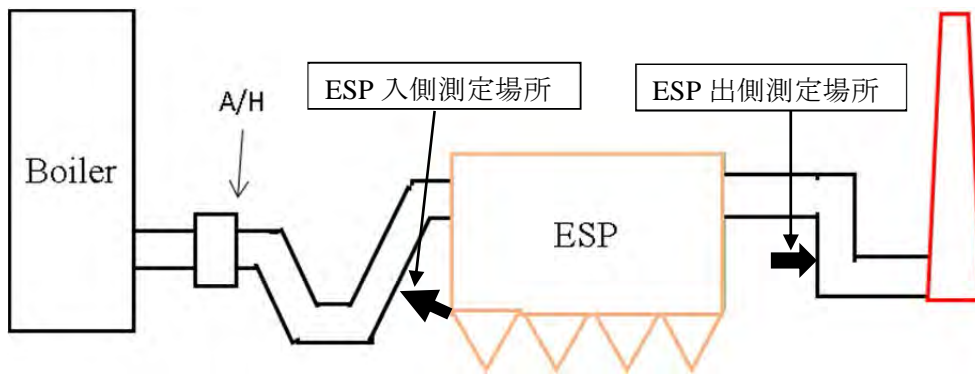


図 4 - 9 ダスト濃度測定場所

Kosovo A ボイラに比較すれば測定場所の環境は良かったものの、流速やダスト濃度を測定する場所としては図 4 - 9 に示すように、配管の曲りの直前、直後といった場所となり、さらに入側は配管の幅が徐々に大きくなる場所でもあり、出側は誘引通風機直前といった測定には決して適した位置とは言えない場所であったが、その他選択肢もなくこの位置で測定を実施した。



写真 4 - 5 a ダスト濃度測定時の ESP 入側の様子



写真 4 - 5b ダスト濃度測定のための ESP 出側の様子

4 - 3 - 2 測定結果

(1) 第 1 次派遣時測定結果

11 月 3 日、4 日に Kosovo B1 ボイラのダスト濃度測定を実施した。

第一次派遣時は B1 ボイラのみを対象として測定を実施した。以下にその測定結果を示す。

11 月 2 日に測定機器を持ち込み、事前確認を実施したのち、Kosovo B-1 ボイラが有する 2 つの ESP に対し、10 月 3 日に No.1ESP、10 月 4 日 No.2ESP の入側、出側各々に対しダスト濃度測定を実施した。

図 4 - 1 0 に測定結果のまとめを示す。

また、付属資料に測定時のボイラ運転条件、煙道排ガス測定データ、および詳細な測定データをを示す。測定中 B-1 は 2 日間にわたり 281~289Mw と安定した発電量を保ち、比較的安定した状態であった。

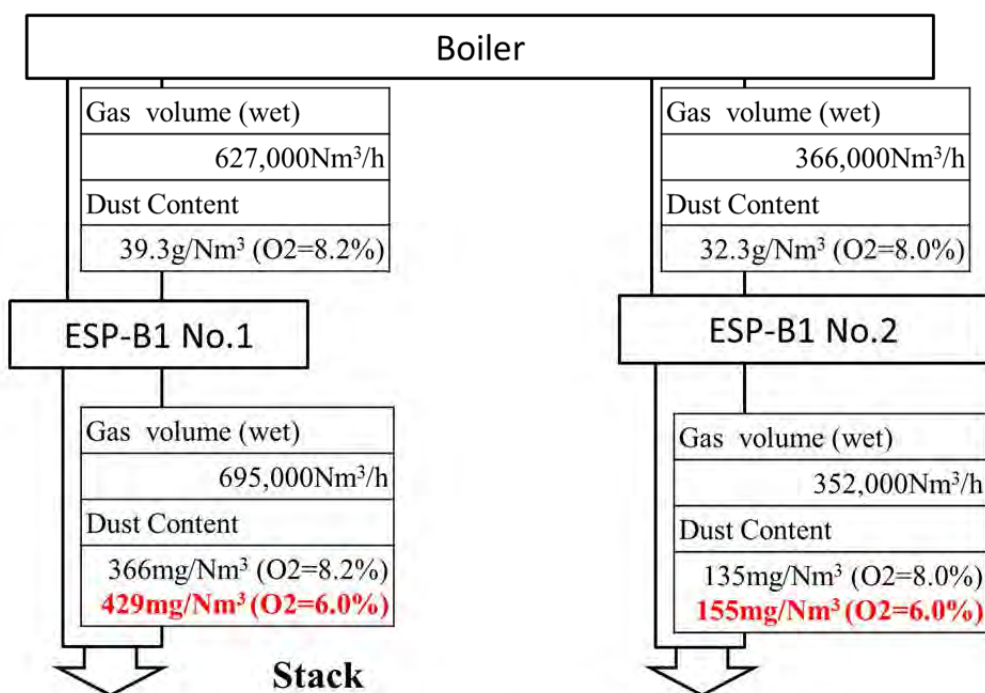


図 4 - 1 0 Kosovo B-1 ボイラのダスト濃度測定結果

Kosovo A ボイラの測定結果と同様に、最終出側ダスト濃度（ O_2 ：6%換算）を示すが、加重平均すると約 $350\text{mg}/\text{Nm}^3$ と高い数値となった。

測定結果に関しては以下のような課題が見られた。

1) No.1 ESP と No.2ESP の排ガス流量が異なる。

- ① 図4-10からわかるように、No.1ESP に比べ No.2ESP の排ガス量が入側、出側ともにほぼ半分の量となっている。排ガス量が少ないことから No.2ESP の集塵効率が良くなり、出口のダスト濃度は低くなっていると思われる。ただし、Lignite の分析値を正確に知る必要はあるが、Lignite の分析値から算出する総排ガス量に対し、測定した総排ガス量が少ないように思われる。しかしながら、図4-8からわかるように2つのESP の出側は共通ダクトとなっておりESP 出側測定点が共通配管の後であること、測定点の後に設置された誘引通風機の負荷がほぼ同じであったことから出側の排ガス量はあまり変わらない可能性が高いと推定されるが、No.2ESP 出側排ガス流量が入口と同様にNo.1ESP の出側流量の約半分となっているところにも疑問が残る。
- ② Lignite 消費量から予測する排ガス量に対し、測定された総排ガス量は少なめの値となっていると推定される。
- ③ 付属資料に示しているが Kosovo A ボイラ測定結果と同様にESP 入側、出側ともに流速分布のばらつきが非常に大きい。さらには流速が検出できないポイントも多く、ガスの大きな偏流や配管内での渦の発生といったものも推定される。そのため測定場所が排ガス量の測定に適していない可能性が高い。

2) その他

- ① ダスト濃度測定に関して、流速分布のばらつきも大きいことからESP 入側、出側ともに測定ポイントを増やして測定を実施した。結果として入側ダスト濃度に関してはいわゆる計算値とほぼ同じとなる結果が得られた。出側濃度も、かなり正しい値を計測できたと考えている。
- ② Kosovo A ボイラと同様に SO_2 、 NO_x について検知管を利用して簡易測定を実施した。その結果、Kosovo A ボイラと同様に NO_x については $400\sim 500\text{ppm}$ ($800\sim 1,000\text{mg}/\text{Nm}^3$) といった予想通りの結果が出たが、 SO_2 については全く検出されないか、検出されても 100ppm ($300\text{mg}/\text{Nm}^3$) 程度と Kosovo A と同じ結果であり、炉内脱硫の可能性を示唆するが、正しい値については第2次派遣での自動連続測定機器を使用した結果を待つこととした。

ダスト濃度については、Kosovo A ボイラの結果とは異なり、ESP 入側のダスト濃度はほぼ計算値に近く、異論は出なかった。また、ESP 出側の濃度はELVs を大幅に上回る大きな数値となったが、この点について異論はなく、排出値に対する認識の低さが感じられた。

一方、第1次派遣時のダスト濃度測定の課題としては、Kosovo A ボイラと同様に測定による排ガス量と計算上の排ガス量の差が大きく、実際の測定結果の信頼性を少なからず損なう結果となった。測定場所が悪いという課題はあるものの、Kosovo A ボイラと同様に第2次派遣時には測定排ガス量の精度を高める必要があると認識された。

(2) 第2次派遣時測定結果

第2次派遣では、Kosovo B-2 ボイラを対象に Kosovo A ボイラと同様、ダスト濃度測定の対象は出側のみとしたが、流速、ダストともに測定点を増やし測定精度を上げることとした。ただし、流速分布については出側とともに入側でも測定を実施した。また持ち込んだ自動連続測定機器により、SO₂、NO_xの連続測定を実施した。

ダスト濃度測定の結果を図4-11に示す。また、付属資料に測定時のボイラ運転条件、煙道排ガス測定データの結果、および測定データの詳細を示す。測定中 B-2 ボイラは 292～297Mw と安定な運転を実施していた。

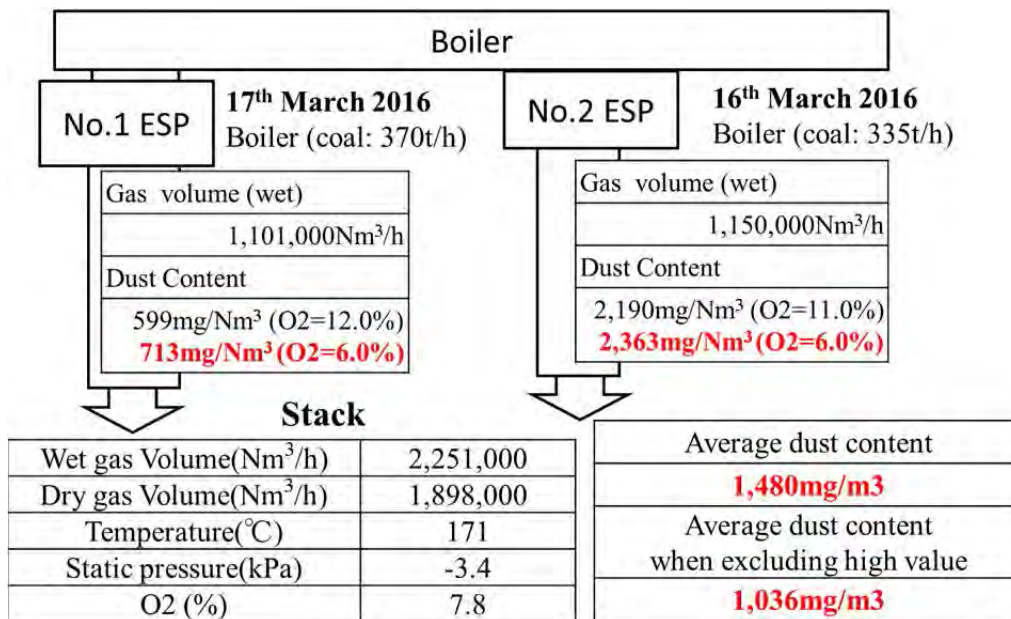


図4-11 Kosovo B-2 ボイラのダスト濃度測定結果

付属資料に示すように Kosovo B-2 ボイラのダスト濃度はばらつきが大きく、そのため濃度の単純平均の値 (Average dust content) と、異常に高い値を除いた平均値 (Average dust content excluding high values) の2種類を示した。

第1次派遣、第2次派遣を通してのダスト濃度は 150~1,000mg/Nm³ と幅が大きく、また異常に高い値を示すケースもあり、本当の平均値を特定できる状況とはならなかった。ダスト濃度測定に関しては以下のようにまとめられる。

- 1) 付属資料に示すように第1次派遣のダスト濃度測定では測定点が少なく不明であったが、第2次派遣時の測定結果では Kosovo A ボイラと同様に、測定点によるダスト濃度の大きなばらつきが確認された。同じダクト内でも測定場所によって値が異なっている。異常値に関してはボイラチューブのストロー、ESP 内の電極のハンマリングの影響も考えられる。今後測定を継続するに当たり、Kosovo B ボイラにおいても平均値を示す代表測定点を特定し、1カ所で測定することが望まれる。今回測定を実施した場所は同一ダクト内のダスト濃度のばらつきが大きく、代表的な値を表すことは難しいことが分かった。そのため、代表性を示す測定場所を別途選択することが必要であると考えられる。一方 Kosovo B ボイラはCEMsを有しているが、

煙突の高さ 90m の位置に設置されており、その危険性からメンテしておらず現在稼働していない状態となっている。さらに EC 指令は CEMs 直近で Reference Method による測定を要求しているが、特にダスト濃度測定を実施する際にその作業自体が非常に危険で困難な場所となっている。そのため、CEMs の設置場所に関しても新たに検討する必要がある、その意味でも代表性を持つ測定場所を特定することが非常に重要な要素となる。

- 2) 第 1 次派遣時に議論になった No.1ESP と No.2ESP についての排ガス量差は今回の測定ではほとんど見られなかった。一方計算排ガス量と測定排ガス量の差について確認するために入側の風量測定も実施した。詳細は付属資料に示すが、今回の測定では以下の結果となった・

B-2 ボイラ入側測定排ガス量 (付属資料より)

湿り排ガス量: 2,986,000Nm³/h、乾き排ガス量: 2,744,000Nm³/h (排ガス O₂=8.4%)

B-2 ボイラ出側測定排ガス量 (図 4-1-1 より)

湿り排ガス量: 2,251,000Nm³/h、乾き排ガス量: 1,898,000Nm³/h (排ガス O₂=7.8%)

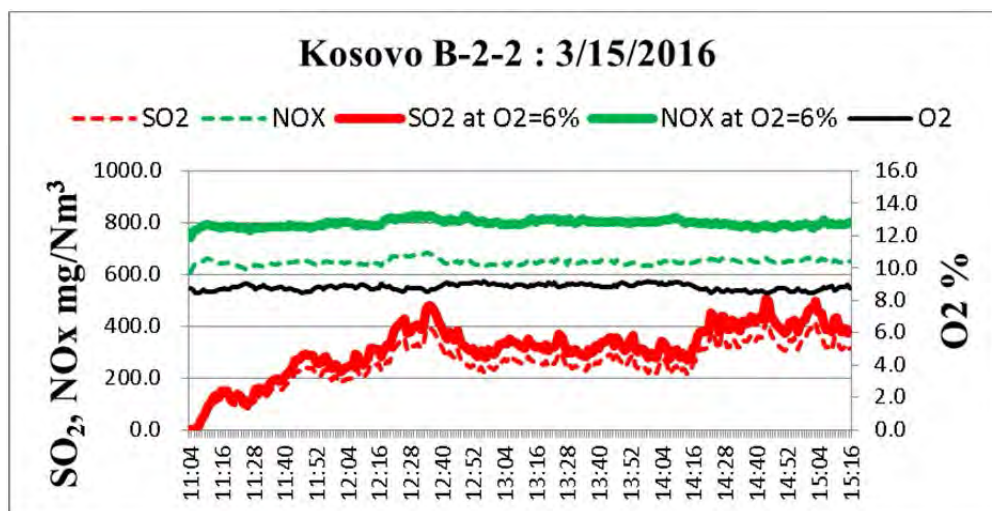
となり、入側乾排ガス量を排ガス O₂ により補正して出側乾排ガス量を計算すると 2,620,000 Nm³/h と 15%程度の誤差となった。計算排ガス量は前回サンプルした Lignite の分析値(後述する A-3 ボイラからの分析値)をもとに計算すると

B-4 ボイラ出側計算排ガス量

湿り排ガス量: 1,588,000Nm³/h、乾き排ガス量: 1,307,000Nm³/h (排ガス O₂=7.8%)

となり、第 2 次派遣では、測定点を増やして精度を上げたものの 5 割程度と大きな差が生じた。この原因として燃料としての Lignite の性状の差も考えられるが、入側・出側ともに大きな流速分布が存在していることも大きな要因と考えられる。このことから今回の測定点は代表性を示す場所ではなく、代表性を示す測定場所を別途選択することが必要であると考えられる。

第 2 次派遣時では連続分析計を持ち込み、SO₂、NO_x の連続測定を実施した。図 4-1-2 にその測定結果の 1 例を示す (今回測定全データは付属資料に示す)。



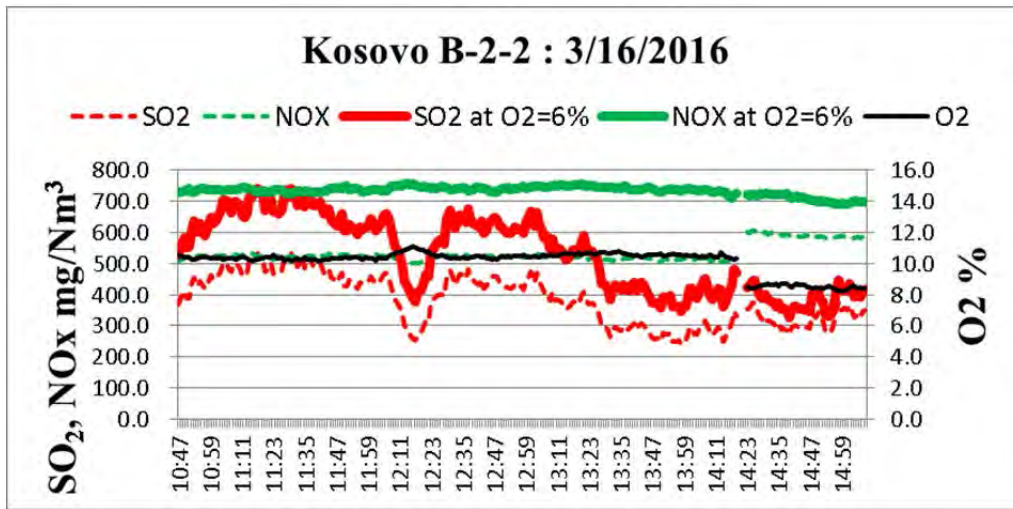


図4-12 Kosovo A ボイラにおける SO₂ と NO_x の挙動の 1 例

特徴をまとめると以下のようなになる。

- NO_x 濃度 (O₂=6% 換算) は常に 700~800 mg/Nm³ と安定している。
- SO₂ 濃度 (O₂=6% 換算) は 0~1,000 mg/Nm³ と大きく変動している。ただし Kosovo A ボイラとは異なり、測定期間中 SO₂=0 mg/Nm³ を示す時間は少なかった。

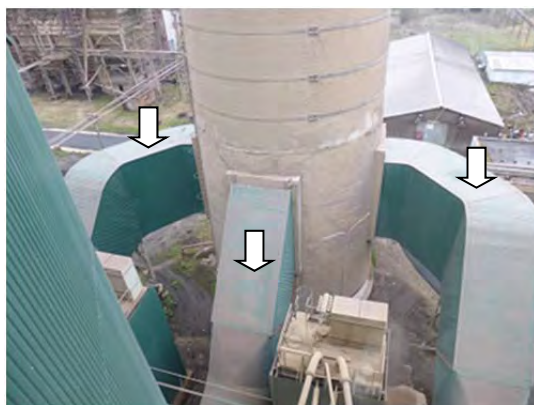
以上の結果から、NO_x 濃度は ELVs を超過しており、対策が必要であることが分かった。一方、SO₂ 濃度は Kosovo A ボイラと同様な現象を示していた。したがって平均的な排出値を提示することは困難で、Kosovo A ボイラと同様な対応が必要であることが分かった。

4-4 Kosovo A および B 発電所における測定場所の見直しについて

Kosovo A 及び Kosovo B 発電所における現状の測定点での測定を行った結果、ダスト濃度にばらつきがあることから、現状の測定点では測定値の代表性を示すことが難しく別途代表性を持つ測定点を選択することが必要であることがわかった。

C/P との協議の結果、今後測定を実施する場合は、写真 4-6 に示す位置に新たに測定場所を設置することとした。

↓ : 合意を得た測定場所



Kosovo A TPP



Kosovo B TPP

写真 4-6 新しい測定場所

新しい測定場所は以下のような特徴を持っている。

- ▶ 誘引ファンの出側であり、ガスはよく混合されている。そのために SO₂、NO_x のダクト内の代表性は得られやすい。
- ▶ 誘引ファンの出側で整流板が設置されていることおよび測定部が唯一の直線部でもあり、流れが比較的均されていることが期待でき、均一なダスト濃度分布が期待できる。
- ▶ ダクト径は大きいものの、ダクト上部からの測定が可能であり、デッキを設置することで安全でかつ測定器具のハンドリングが容易になる。

ただし、次回以降の測定ではこの場所の代表性を確認する必要がある。

また Kosovo B ボイラの NO_x、SO₂ 測定に関しては、排ガス再循環ラインが写真 4-6 の二つのダクトから共通に排ガスを吸引していることを利用して、排ガス再循環ラインで測定することも可能であり、測定場所としての一つの候補となる。

代表性が確認され代表点を特定できれば、ダストの測定頻度を上げられることや SO₂ 濃度の連続測定も可能となり、ボイラ操業とダスト濃度、SO₂ 濃度との関係の調査も容易になることから、今後の改善の検討に寄与することができると考えられる。

また、今後の CEMs の設置位置としてもメンテナンスや安全を確保できる場所となる可能性がある。

4-5 Kosovo A&B 発電所におけるサンプリングの実施

Kosovo A&B 発電所では Lignite の分析は頻繁に実施しているものの、飛灰・炉底灰については余り分析していない。コソボで実施される分析と日本で実施する分析との整合性を確認するために、Lignite・飛灰・炉底灰のサンプルを日本に持ち帰り、分析結果の比較検討を行うとともに操業改善に関する検討を行うこととした。

第 2 次派遣で持ち込んだ自動連続測定機器の測定により確認された SO₂ の特異な現象については、5-4 節において、これら第 1 次派遣時に採取した Lignite、飛灰、炉底灰の分析結果をもとに、どの程度の炉内脱硫が起こっているかの試算した結果を示す。測定結果、試算結果ともに炉内脱硫の存在を示唆している。

4-5-1 サンプリングについて

サンプリングは、Kosovo A TPP の A-3 系列と A-5 系列各 1 個、Kosovo B TPP の B1 で行い、Lignite、飛灰、炉底灰の 3 種類を対象とした。

分析の目的は以下のとおりである。

① Lignite の性状（水分、灰分、発熱量）の把握

各発電所でも定期的に分析を実施しているが、再度日本国内での分析も実施し、分析値を比較する。

② 飛灰、炉底灰の性状の把握

灰の組成を調査することで、ボイラへの影響を推定する基礎データとする。特に、今回の測定で SO₂ の排出量が大きく変動しているから、Lignite に含まれる Ca 分との間で炉内脱硫反応が進行していると考えられ、このような観点での分析も実施する。

なお、Lignite は吸湿の可能性もあるため、現地採取時と日本に持ち帰った後の分析時の水分誤差をなくすため、現地で乾燥後の水分量を測定したのち、日本に持ち帰り分析を実施した。

したがって別添資料に示す分析結果は乾燥後の値となる。また、飛灰、炉底灰については水分量が少なく誤差が出難いことから、そのまま日本に持ち帰り分析を実施した。

4-5-2 Lignite 等の分析値入手結果について

以下に Kosovo A 発電所で入手した Lignite と灰の分析結果を参考までに示す。

【Lignite と灰の分析結果】 Additional Questionnaire への回答より

Lignite as the main fuel in the Power Plants of Kosova-A is supplied from the surface coal mines in Mirash, Bardh and South-West Sibovc, with these characteristics:

表 4-1 Ligniteの分析結果 (Wet base)

Component	Value
Moisture content	38-48 %
Ash content	21.32-9.84 %
Hydrogen content	2.01-2.25 %
Total sulphur content	1.51-0.68 %
Sulphur content in the ash	1.02-0.61 %
Combusted sulphur content	0.49-0.07 %
Fixed carbon content	38.58-27.47 %
Volatile matter	24.12-26.37 %
Carbon for combustion	39.38-44 %

Data for the ash from combustion process of the Lignite 1 in the Power Plant “Kosova-A” as follows:

表 4-2 灰の分析結果

Component	Value
SiO ₂	31.76 - 21.65 %
Fe ₂ O ₃	12.21 - 5.5 %
Al ₂ O ₃	5.95 - 9.5 %
CaO	28.56 - 45.0 %
MgO	2.95 - 9.0 %
SO ₃	10.35 - 14.0 %
P ₂ O ₅	0.2 - 0.5 %

4-5-3 日本における分析結果

日本に持ち帰ったサンプルに対し、以下の解析を実施した。

- (1) Lignite の工業分析、元素分析等
- (2) 飛灰の工業分析、元素分析、融点等調査等
- (3) 炉底灰の分析および強熱減量
- (4) 飛灰の定性分析、粒径分布、電気抵抗率等

以下にその分析結果を示す。

(1) Lignite の工業分析、元素分析等

表 4-3 に Lignite の分析結果を示す。本分析結果は日本での乾燥後の分析結果を、現地で乾燥した水分量で補正したのちに算出したものである。また、表 4-4 に Kosovo で分析を実施した値との主な数値の比較を示す。

表 4-3 Lignite の分析結果

分析項目	単位	結果			分析方法	
		A-3	A-5	B-1		
工業分析	水分	wt%	45.64	45.74	47.68	JIS M 8812
	灰分	湿 wt%	15.20	15.14	11.90	JIS M 8812
		乾 wt%	27.96	27.91	22.74	JIS M 8812
	揮発分	湿 wt%	25.41	24.68	25.11	JIS M 8812
		乾 wt%	46.75	45.48	47.99	JIS M 8812
	固定炭素	湿 wt%	13.75	14.44	15.31	計算による
乾 wt%		25.29	26.61	29.27	計算による	
元素分析	炭素 (C)	乾 wt%	45.28	45.76	49.89	JIS M 8819
	水素 (H)	乾 wt%	3.87	3.89	4.11	JIS M 8819
	窒素 (N)	乾 wt%	0.82	0.80	1.12	JIS M 8819
	全硫黄 (S)	乾 wt%	1.44	1.54	1.57	JIS M 8813
	灰中硫黄(灰中 S)	乾 wt%	1.16	1.11	0.89	JIS M 8813
	全塩素 (CL)	乾 wt%	0.01 未満	0.01 未満	0.01	電位差滴定法
	酸素 (O)	乾 wt%	20.63	20.10	20.57	計算による
カルシウム	乾 wt%	7.60	7.52	6.26	ICP ¹¹ 発光分光分析法	
水銀	μ g/g	0.10	0.09	0.06	還元気化原子吸光法	
高位発熱量	乾 kJ/kg	17,700	17,380	19,420	JIS M 8814	
	乾 kcal/kg	4,230	4,150	4,640		
	湿 kJ/kg	9,620	9,430	10,160		
	湿 kcal/kg	2,300	2,250	2,430		
低位発熱量	湿 kJ/kg	8,000	7,810	8,470		
	湿 kcal/kg	1,910	1,870	2,020		
X 線回折	-					X 線回折法

Lignite を 815°C で処理した後の灰中の分析結果

分析項目	単位	結果			分析方法
		A-3	A-5	B-1	

¹¹ Inductively Coupled Plasma

カルシウム (Ca)	乾 wt%	28.58	28.58	28.58	ICP 発光分光分析法
シリカ (Si)	乾 wt%	22.71	23.52	23.51	重量法
マグネシウム (Mg)	乾 wt%	2.27	2.31	3.18	ICP 発光分光分析法
アルミニウム (AL)	乾 wt%	3.14	3.10	4.34	ICP 発光分光分析法
硫黄 (S)	乾 wt%	3.78	3.69	3.47	JIS M 8813

表 4-4 分析結果の比較 (Wet base)

Component	Received Data	Analysis Result
Moisture content	38-48 %	45.64-47.68 %
Ash content	21.32-9.84 %	11.90-15.20 %
Hydrogen content	2.01-2.25 %	2.10-2.15 %
Total sulphur content	1.51-0.68 %	0.78-0.82 %
Sulphur content in the ash	1.02-0.61 %	0.47-0.63 %
Combustible sulphur content	0.49-0.07 %	0.15-0.35 %
Fixed carbon content	38.58-27.47 %	13.75-15.31 %
Volatile matter	24.12-26.37 %	24.68-25.41 %
Carbon for combustion	39.38-44 %	24.61-26.10 %
	Contact Mission Report	Analysis Result
Heating Value(LHV)	6000~9500 KJ/kg	7810~8470 KJ/kg
	1430~2278 Kcal/kg	1870~2020 Kcal/kg

成分に大きなバラツキがあるものの、発熱量、水分、灰分、硫黄分などについては、入手データとサンプルの分析結果はほぼ同じ範囲におさまっている。しかし、揮発分と固定炭素、炭素分の間には、相違があり、燃料比（固定炭素／揮発分）については、開きがみられる。一般に Lignite の燃料比は 1.0 以下であることから、入手データは、揮発分と固定炭素の記入ミス（入れ替わっている）の可能性が高いと思われる。炭素分については、高灰分、高水分の Lignite ではここまで高くなるとは考え難く、分析値が Dry Base の可能性が高い。

また同時に Lignite 中の X 線回折により Lignite 中に存在する物質の同定の結果も含めて、日本で実施した分析結果から以下のようなことがわかる。

- ① 硫黄について、(全硫黄－灰中硫黄)が燃焼性硫黄となり、今回の分析では燃焼性硫黄は全硫黄の約 3 割程度となっている。日本の分析では温度 815℃で燃焼した際に発生するものを燃焼性硫黄としている。
- ② Lignite の灰中には多量の Ca が含まれる。灰の塩基度 (CaO/SiO₂) はモル比で 0.8~0.9 程度と高い。Lignite の X 線回折を実施したが、本手法は Lignite 中に多く存在する物質の同定を目的とした定性分析である。この分析によれば、多量の CaO、CaSO₄ が存在することが確認できた（他の物質は少量のため同定できず）。この結果から Lignite 中には Ca および S が多量に存在し、また S の一部はすでに CaSO₄ の形で固定されていることが確認できた。CaSO₄ は高温にならないと分解しないことから、

燃焼性 S が少ないことが予想される。

- ③ Lignite の分析は水銀 (Hg) が含まれていることを示した。これら水銀は S と結合し、HgS の形態で存在しているものと推定される (もつとも安定している形態)。

(2) 飛灰の工業分析、元素分析、融点等調査等

表 4-5 に飛灰の分析結果を示す。

表 4-5 飛灰の分析結果

分析項目		単位	結果			分析方法
			A-3	A-5	B-1	
工業分析	水分	wt%	0.03	0.04	0.24	JIS M 8812
	灰分	湿 wt%	98.78	98.78	96.53	JIS M 8812
		乾 wt%	98.81	98.82	96.76	JIS M 8812
	揮発分	湿 wt%	1.14	1.12	3.08	JIS M 8812
		乾 wt%	1.14	1.12	3.09	JIS M 8812
元素分析	炭素 (C)	乾 wt%	0.51	0.46	0.80	JIS M 8819
	水素 (H)	乾 wt%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8819
	窒素 (N)	乾 wt%	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	JIS M 8819
	全硫黄 (S)	乾 wt%	4.69	4.77	10.05	JIS M 8813
	燃焼性硫黄 (S)	乾 wt%	0.05	0.23	0.06	JIS M 8813
	全塩素 (CL)	乾 wt%	0.02	0.01	0.04	電位差滴定法
	酸素 (O)	乾 wt%	0.68	0.72	2.44	計算による
二酸化珪素 (SiO ₂)	乾 wt%	21.86	23.47	11.81	重量法による	
酸化アルミニウム (AL ₂ O ₃)	乾 wt%	5.83	5.87	2.99	ICP 発光分光分析法	
酸化第二鉄 (Fe ₂ O ₃)	乾 wt%	8.11	8.97	4.84	ICP 発光分光分析法	
酸化カルシウム (CaO)	乾 wt%	39.38	38.32	44.72	ICP 発光分光分析法	
酸化マグネシウム (MgO)	乾 wt%	3.74	3.83	3.41	ICP 発光分光分析法	
硫酸カルシウム (CaSO ₄)	乾 wt%	19.91	20.25	42.67	硫黄から換算	
比重	乾ベース	2.52	2.70	2.68	JIS Z 8807	
水銀(Hg)	μ g/g	0.04	0.05	0.25	還元気化原子吸光法	
軟化点	℃	1,350	1,320	1,600 以上 ¹²	JIS M 8801 12(還元	

¹² 1,600℃以上とした理由：炉の最高温度である 1,600℃において JIS に規定される熔融特性を示さなかったため。

					性雰囲気)
融点	℃	1,380	1,350	1,600 以上	JIS M 8801 12(還元性雰囲気)
溶流点	℃	1,515	1,495	1,600 以上	JIS M 8801 12(還元性雰囲気)
定性分析	-				ICP 質量分析法
粒径分布	-				レーザー光散乱法
比抵抗	-				JIS B 9915(1989)

飛灰の分析結果から以下のことがわかる。

- 灰中の未燃分(炭素、水素の含有量)が1%以下で、燃焼状況は良いと考えられる。
- 飛灰中のS分は高く、Lignite中のS分の多くは飛灰に移動していると推定される。分析されたSの量から、SがCaSO₄により固定されていると仮定してCaSO₄を推定しているが、B-1の結果はS分が高いことからCaSO₄が非常に高くなっている。これらの数値を確認するためには何度か同様な分析を実施する必要がある。
- 飛灰中サンプルの塩基度(CaO/SiO₂)は非常に高い(1.0以上)。Caの一部はCaSO₄として固定されているため、実際の塩基度はもう少し低いと考えられるが、いずれにしる高い値となっている。そのため、表4-5に示したように軟化点、融点、溶流点ともに高い数値を示した。特にB-1のサンプルはCaOの割合が高く軟化点、融点、溶流点ともにKosovo A TPPの結果より高くなっている。図4-13に飛灰の代表的な成分であるCaO、SiO₂、FeO(高温状態ではFeの酸化物はFeOの形態で存在)の状態図(融点)を示す。図中の赤い丸で囲った部分が、サンプルした飛灰の代表的な成分構成であり、十分に高い融点を確保している。

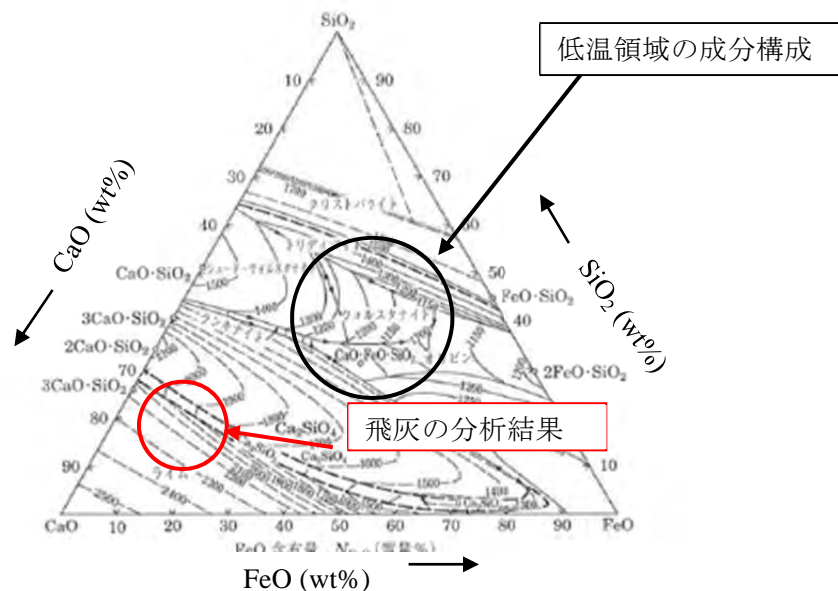


図4-13 CaO-SiO₂-FeOの状態図¹³(図中の数値は融点を示す)

¹³ 鉄鋼製錬 日本金属学会 実際の灰は他成分の影響があり、実際の融点は図示したものより低くなる。

本分析は燃焼温度が上昇した場合、スラギング（飛灰の伝熱面への溶融付着）の可能性を検討したものであるが、軟化点、融点、溶流点とも十分に高く、スラギングの可能性は小さいものと推定できる。ただし、図4-13からわかるように、CaOが下がると低融点領域が現れるため、飛灰中のCaOの監視は必要である。

d) 飛灰中にも水銀（Hg）が存在している。この水銀はHgSとして固定されていると推定される。

(3) 炉底灰の分析および強熱減量

表4-6に炉底灰の分析結果を示す。

表4-6 炉底灰の分析結果

分析項目	単位	結果			分析方法
		A-3	A-5	B-1	
未燃炭素（未燃-C）	乾 wt%	17.96	8.91	14.02	JIS R 9101 準拠
カルシウム（Ca）	乾 wt%	7.54	7.23	9.87	ICP 発光分光分析法
全硫黄（S）	乾 wt%	0.69	0.47	0.83	JIS M 8813
強熱減量	乾 wt%	18.61	12.28	15.06	底質調査方法Ⅱ.4.2

炉底灰の分析値は高い強熱減量を示しており、未燃分が多いことを示している。一方飛灰に比較し、Ca、Sの値が低くなっている。ボイラ上部では温度が高く脱硫反応は進んでいるが、炉底灰を排出する炉下部では未燃分が多いことから温度が低く、脱硫反応が進んでいない可能性が高い。

(4) 飛灰の定性分析、粒径分布、電気抵抗率等

飛灰について、通常分析以外に定性分析、粒径分布、電気抵抗率測定を実施した。その結果を以下に示す。

飛灰の定性分析は、飛灰中にどの成分（原子）が存在するか定性的に示すものである。いずれの飛灰も通常分析と同じ傾向を示しており、以下のように通常分析とほぼ同じ結果を示した。

表4-7 飛灰の定性分析結果

	検出された物質
>10%	Ca
1~10%	Mg、Al、S、Fe
<1%	Na、P、K、Ti、Mn 等

次にESPの飛灰の粒径分布を測定した。図4-14に各プラントから採取した飛灰の粒径分布を示す。

Ligniteはミルで粉砕後、大きな粒子は分級器で除去されるため、Ligniteの燃焼の結果生成する飛灰も大きな粒径の大きいものが減っているものと推定され、正規分布と少し異なる形となっている。Kosovo A-3、A-5ボイラの平均粒径がそれぞれ29μm、26μm（中心値は約25μm、15μm）に対し、Kosovo B-1ボイラの平均粒径は12μm（中心値

は約 $5\mu\text{m}$) と小さくなっており、ミルの粉碎性能や燃焼特性など生成機構が異なる可能性がある。これらの粒子はダストとして煙突から排出されることから、PM10.0、PM2.5等の原因となる可能性がある。

次にこれらの各飛灰の電気抵抗率の測定結果を図4-15に示す。

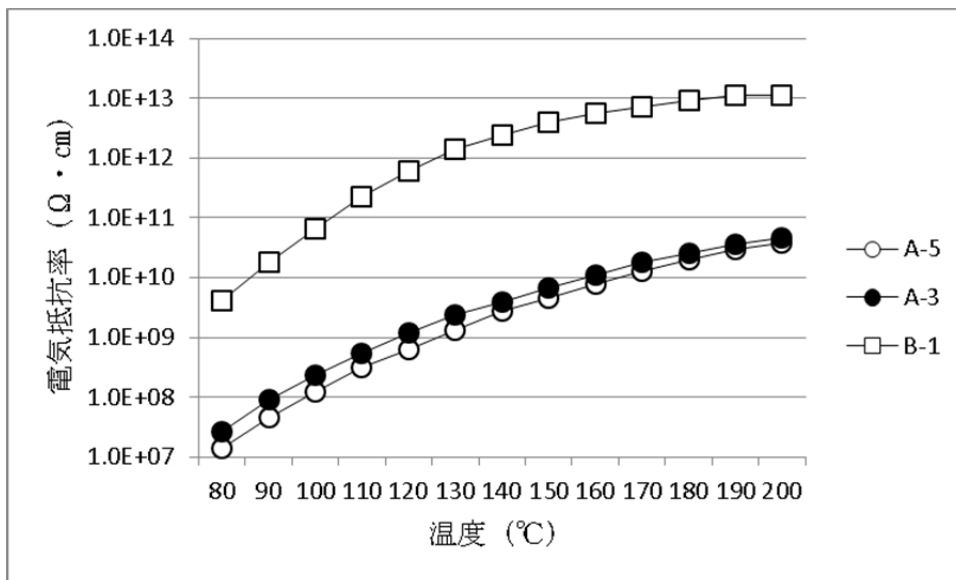
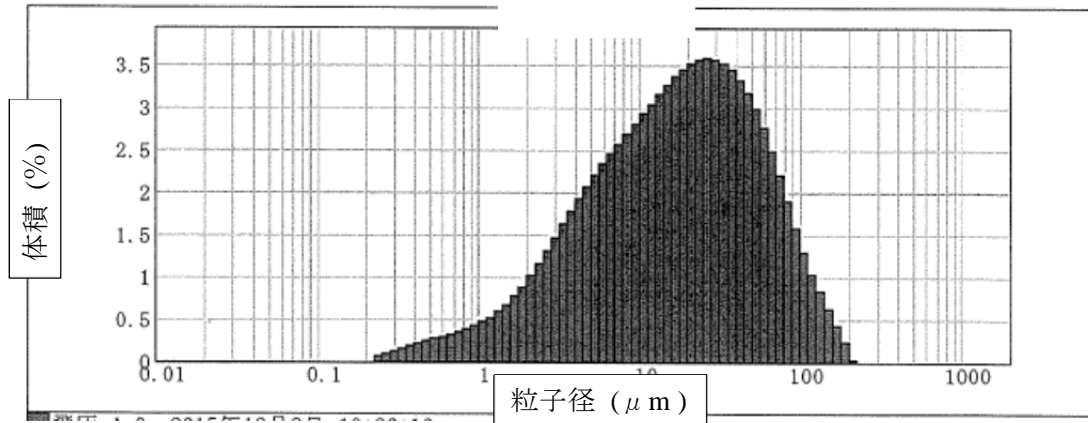


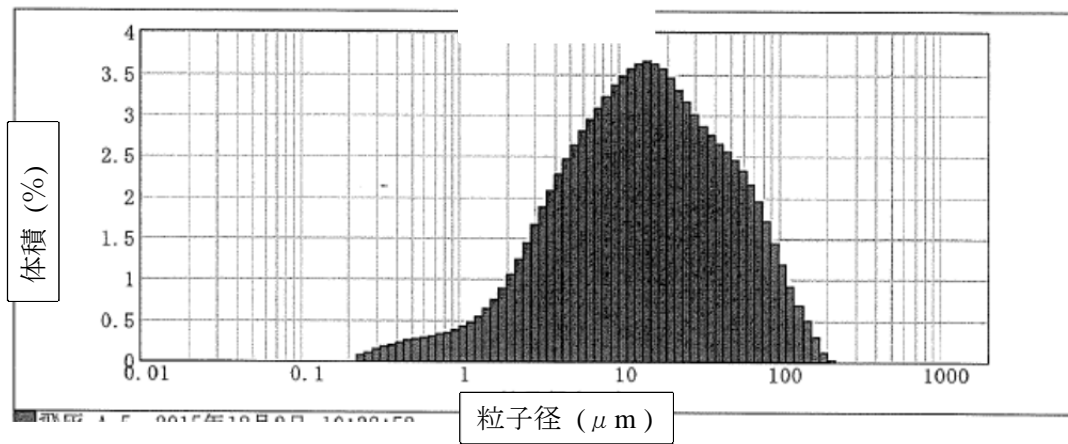
図4-15 飛灰の電気抵抗率

図4-15からわかるように、Kosovo A ボイラと Kosovo B ボイラでは飛灰の電気抵抗率は大きく異なっている。この原因は、ボイラ炉内での燃焼雰囲気(温度や酸素濃度)の違いにより生成する飛灰中の化合物の組成が異なる事によるものと考えられる。5-2節に示すが、この電気抵抗率はESPの集塵効率に大きな影響を与える。一般的には $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ を超えると集塵効率は落ちるとされており、現在のボイラ排ガス温度が 180°C 付近であることから、ESPの荷電が安定しない恐れがある。

Kosovo A-3 ボイラ飛灰



Kosovo A-5 ボイラ飛灰



Kosovo B-1 ボイラ飛灰

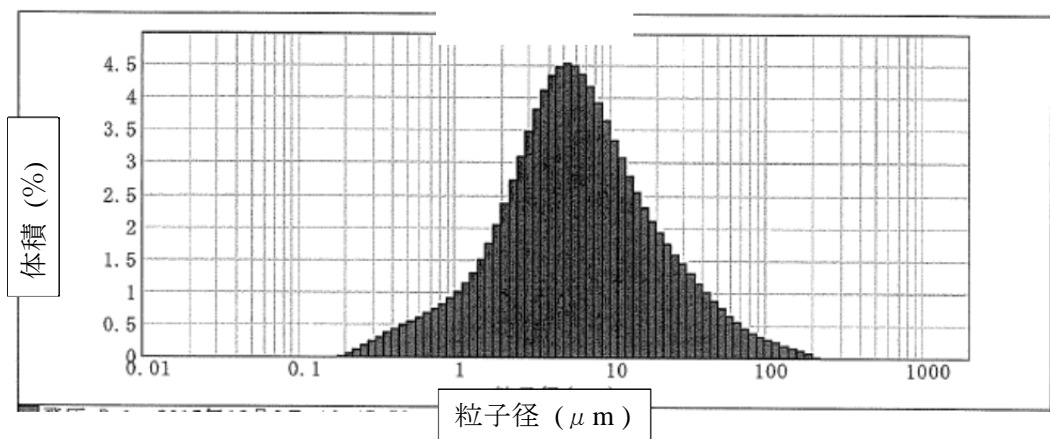


図 4 - 1 4 Kosovo A ボイラ、B ボイラの飛灰の粒径分布比較

4-6 煙道排ガス測定技術の伝承について

今回の業務の大きな目的の一つとして煙道排ガス測定の技術移転がある。しかしながら今回の業務においてデータを採取することを最優先としたことから、技術移転の時間を十分にとることはできなかった。但し、参加したC/Pは積極性もあり、SOP（Standard Operating Procedure）も読み込んで自らアルバニア語訳を実施しているメンバもあり、測定へも積極的に参加した。但し、まだ自分自身で実施した回数も少なく、十分に理解して実行できる状態になっているとは言い難いと考えられる。

C/Pの測定担当者は全ての測定に参加したが、第2次派遣時にはOJTとして一部C/Pの測定担当者が作業を実施した。その活動は以下のものとなる。

- (1) Kosovo B TPP の B-2 ボイラ ESP 入側 (No.1, No.2 ESP) の排ガス風量測定および No.2ESP の入側ダスト濃度測定



写真4-7 C/Pメンバによる入側ダスト濃度測定の様子

- (2) 連続分析計 (NO_x, SO₂) のスパン調整 (校正調整)



写真4-8 C/Pメンバによる連続分析計スパン調整 (校正調整) の様子

(3) ダスト濃度測定時に必要な計算の学習



写真 4 - 9 C/P メンバによるダスト濃度測定時に必要な計算学習の様子

C/P 測定担当者は MESP : 1 名 KHMI : 2 名より成り立っている。C/P 測定担当者のみによる OJT はこの 3 回のみであり、ダスト濃度測定時の排ガス量測定はほぼ C/P メンバのみでの測定ができることが確認できたが、ダスト濃度測定を実施するための流速計算や等速吸引ガス量設定はできず、JET の支援が必要な状況であった。まだ作業全体を十分に習得しているとは言えず、再度 SOP 内に書かれている計算式の内容・意味や排ガス量測定の設定方法を理解し、OJT を通じて現場で使えるように指導をしていく必要がある。

自動連続測定機器による測定に関してはオフラインで分析計のゼロ・スパンチェック（校正方法の確認）を実施した。ある程度は理解できたものと思われるが、まだデータを取り込む手順等が勉強不足であり、今後経験を積み重ね習熟していくことが必要である。

ダスト濃度測定の流速計算や等速吸引ガス設定については別途時間を持って実施した。一通りの教育は実施したものの理解できたかどうかは定かではなく、やはり今後現場における経験の積み重ねが必要である。

第5章 大気汚染対策について

第3章に示した Kosovo A TPP、Kosovo B TPP の調査結果、および第4章に示したダスト濃度測定時の操業状況の調査から、ボイラに対する大気汚染対策についてまとめた。

これらの項目は、「1-3-2 煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用」、および「1-3-3 エミッションインベントリ構築に向けた排ガス対策の検討・実施能力強化」に関する排ガス対策についてまとめたものである。特に排ガス対策については NERP 策定に関しての支援の一環として検討した。

5-1 大気汚染対策について

発電所のボイラは多量の石炭を消費するので、煙突から排出される排ガスについては、環境に与える影響について十分な注意が必要である。煙道排ガス中の大気汚染物質としては、ダスト、SO_x、NO_x があるが、それらの排出量については2-2-1に示した EC 指令を満足するよう対策を行う必要がある。表5-1に再度これらの数値を示す

表5-1 EC 指令に示す ELVs

Pollutant	2018 年	2023 年	2026 年
SO ₂ (mg/Nm ³)	400	400	200
NO _x (mg/Nm ³) as NO ₂	500	200	200
Dust (mg/Nm ³)	50	50	20

いずれも O₂=6%ベース

注：Kosovo 政府は Kosovo の実情を考えると 2018 年に NERP を開始するのは現実的でないため、開始を 4 年遅らせ 2022 年に開始することで EU と折衝することを決定した。

環境装置としては、煤塵排出量低減のために電気集塵機 (ESP) が設置されているが、Kosovo A ボイラ、B ボイラとも現在のダスト濃度は ELVs (50mg/Nm³) を満足していない。SO_x、NO_x については建設当初のままで、特に環境対策のための処置は講じられていないが、SO_x については、Lignite 中に Ca 分が多量に含まれている事と、ボイラの炉内温度が 900~1000℃程度である事から、炉内脱硫が自然に行われていると考えられる。第2次派遣にて SO₂ を自動連続測定機器で連続測定したところ、0 mg/Nm³ が継続したり、高い時には 1,000 mg/Nm³ に達したりすることもあり、非常に不安定な状況を示しており、その原因の究明が必要である。Lignite の選択使用、石灰石の投入や、ボイラの運転方法の改善によって低い SO₂ 値を低く維持する事が可能であれば、脱硫装置を導入しないか、設置するとしても小容量のもので、ELVs (現在 400mg/Nm³、将来 200mg/Nm³) を満足できる可能性も考えられるので、今後、詳細な調査が必要である。NO_x については、ELVs (現在 500mg/Nm³、将来 200mg/Nm³) を超えており、低 NO_x バーナの換装などの対策を講じる必要がある。

なお、対策を行うにあたっては、現在の排出基準を満足するだけでなく、将来の排出基準をも満足できるように考慮する必要がある。この際に、今後使用する Lignite の性状が、これまで使用してきた Lignite の性状と大きく変化する可能性が考えられる時には、それらについても設備上の考慮が必要である。

以下に Kosovo A ボイラ, B ボイラに対する大気汚染物質の低減に対する対策について示す。

5-2 ダスト低減対策

ダスト排出量の低減対策としては、発生量を減らす方法と、発生したダストを捕集する方法に大別される。

石炭中の灰分はダストの主要部を占め、もし、灰分の少ない石炭の調達が可能であればダスト低減には有効な方法である。石炭の燃焼時に発生する未燃分もダスト量の増加をもたらすので、石炭を完全燃焼させる事が重要であり、運転方法の改善やバーナの保守、石炭の性状に適した燃焼方式の採用が必要である。

一方、ダストを高い集塵効率で捕集するためには、電気集塵機（ESP）の設置（大型ボイラの場合、維持費を考慮するとバグフィルタは推奨しない）が必要となる。

すでに ESP が設置されていても、入口ダクト形状が適正でない場合や、ダクト内での大粒径の灰の堆積によって、電気集塵機入口ガス流速分布の不均一となったり、ボイラの伝熱面の汚れなどで排ガス温度が上昇したりすると、ESP が本来の設計性能を発揮できないことが考えられる。ESP の追設や、高性能の ESP への更新する際には、排ガス偏流への対策を行わないと性能が発揮できないので、改造を行う際には、対策も含めて検討する必要がある。（図 5-1、図 5-2）

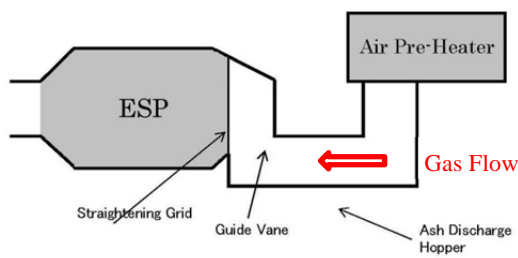


図 5-1 A-TPP の ESP 入側ダクト形状

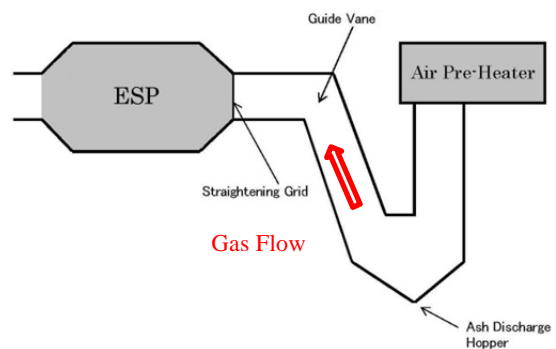


図 5-2 B-TPP の ESP 入側形状

図 5-3 はダスト低減対策として行われる方法を取りまとめたものである。

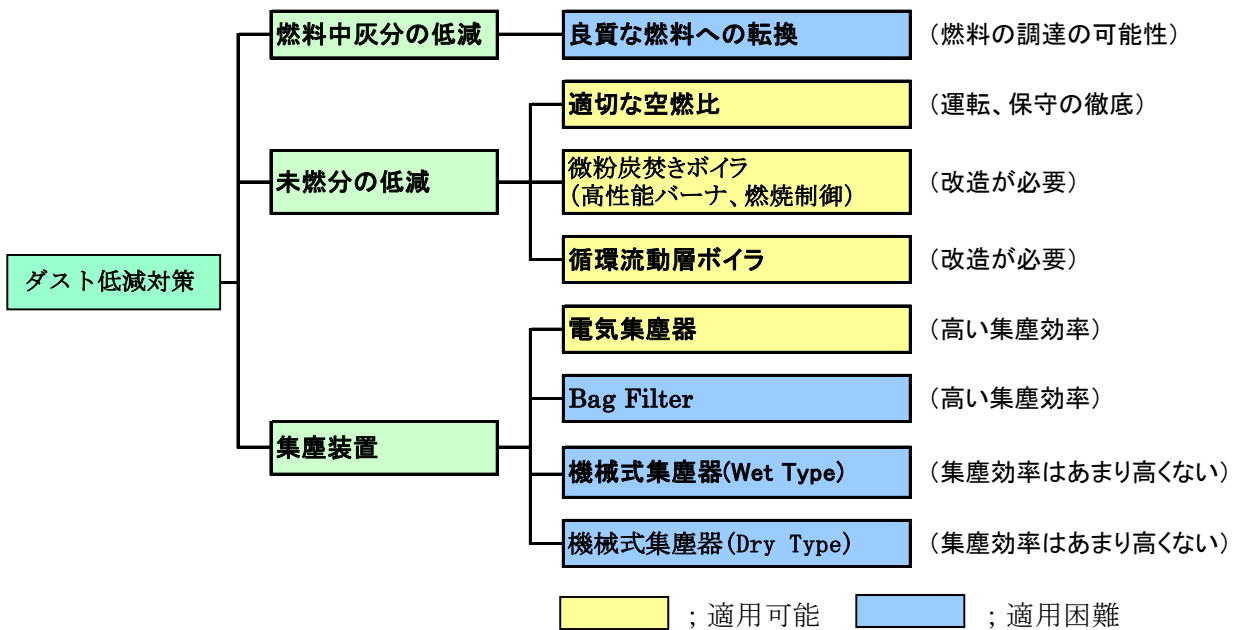


図 5 - 3 ダスト排出量低減対策

(1) Kosovo A ボイラ, B ボイラの排出ダスト低減対策案

Kosovo A ボイラ, B ボイラにおける排出ダスト低減対策としては、現状の ESP が本来の性能を十分発揮できるようにすることが第 1 で、そのためには、ESP 入口ダクト内のガス流速の均一化、ESP 入口ガス温度の低減、ボイラの過剰空気率適正化、漏れ込み空気量低減によるガス量の低減などについて検討を行い可能な限りの対策を講じる必要がある。

それらをすべて実施しても最終的な EC 指令規制値を満足することは難しく、さらなる性能向上をはかる必要がある。その方法としては、

- ① 既設の ESP を撤去して、新しく高性能の ESP に換装する案
- ② 既設の ESP はそのまま活用し、誘引通風機と煙突の間に、既設の ESP 出口でカバーできない分の Dust を捕集する ESP ($200-300\text{mg}/\text{Nm}^3 \rightarrow 20\text{mg}/\text{Nm}^3$) を追設する案が考えられる。(図 5 - 4、図 5 - 5)

改善案 ①；

ESP 入側のガス流れを均一にするために、ダクト形状の変更や、ESP のサイズが大きくなることに伴う、ESP と誘引通風機の配置の変更、ESP と誘引通風機の基礎の新設などが必要となり、工事のためのプラント停止期間が長くなる。

改善案 ②；

現在の誘引通風機の後方に ESP を追設し、設置完了後、それぞれ ESP 入側ダクトを誘引通風機出口ダクトに、ESP 出側ダクトを煙突入口に接続すれば、プラントの停止期間を最小にすることができる。Kosovo-A ボイラは各ユニットともに 3 基の ESP があるが、追設する ESP は誘引通風機後のダクトを集合させて、1 基とする案も考えられる。改造を実施するにあたっては現状の ESP を整備し、実際の ESP 能力を評価して追設する ESP の仕様を明確化する必要がある。改造コストの検討には、この設備仕様（能力・サイズの決定に必要）の他、レイアウトの検討が必要となる。

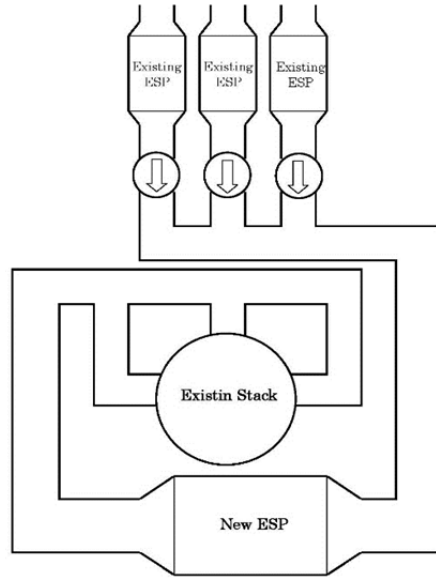


図 5-4 Kosovo-A ボイラ(改善案②)

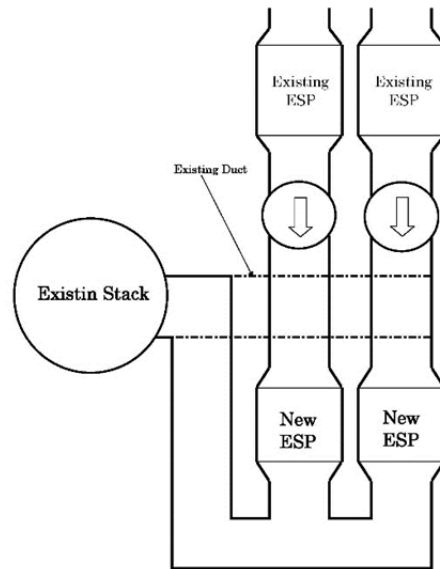


図 5-5 Kosovo-B ボイラ (改善案②)

最近設置されるプラントで脱硫装置を有する場合、ESPの前に Gas-Gas Cooler (GGH) を設置した低低温 ESP¹⁴が採用されている。ESPの前に Gas Cooler を設置して排ガス温度を下げることにより、灰の電気抵抗率の影響を受け難くなり (図 5-6、図 5-7)、集塵性能の向上が図れる。また、排ガス温度が低下した分だけ排ガス量が減るので、ESPのコンパクト化ができるという利点がある。なお、Gas Cooler で回収した熱は、脱硫装置出口のガスを加熱し、煙突から排出するガスの白煙低減とガスの拡散促進をはかっている。

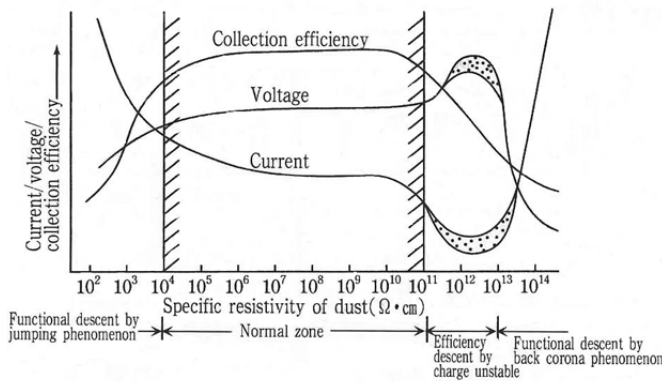


図 5-6 排ガス温度と集塵性能¹⁵

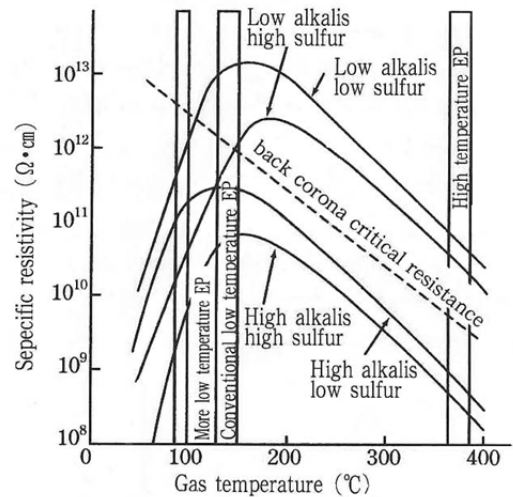


図 5-7 排ガス温度と電気抵抗率¹⁵

Kosovo-A ボイラ, B ボイラの排ガス温度は 180°C 以上であり、灰の分析結果 (4-5-3 節参照) では A は 10^{11} ($\Omega \cdot \text{cm}$)、B は 10^{13} ($\Omega \cdot \text{cm}$) に近い値を示しており、ESP の

¹⁴ ESP の集塵性能が排ガス温度の影響を受けないように、空気予熱部の上流の高温ガス温度域に設置した ESP を高温 ESP システム、100°C 以下の低低温ガス温度域に設置した ESP を低低温 ESP システム (図 5-10) とする。

¹⁵ 火力原子力発電必携 (火力原子力発電技術協会)

性能面から排ガス温度を下げるのが望まれる。

脱硫装置を設置しないプラントにおいても GGH を設置してボイラの排熱を回収し（図 5-8）、地域熱供給（District Heating）の熱源や、タービンの低圧給水加熱器（Low Pressure Feed Water Heater）の加熱用、Lignite 乾燥用熱源などとしての有効利用（ボイラ効率が 3～4% 向上）をはかる方法も考えられるので、Kosovo A ボイラ、B ボイラで ESP の改造を行う際には、新たな ESP の前に GGH を設置する案が考えられる。一方、実施にあたっては、プラント全体の Heat balance や運用（たとえば、夏季には地域熱供給の負荷が下がる）を考慮した詳細な事前調査（Feasibility Study）が必要であり、運転側による運転データ・地域熱供給量のデータの収集、これらのデータに基づく設計が必要となる

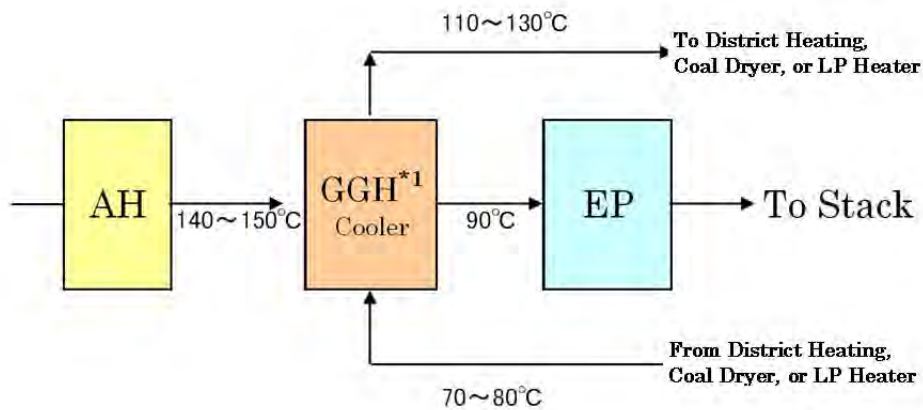


図 5-8 ボイラ排熱の有効利用

また、非常に厳しい排出規制を求められる場合には、捕集したダストの再飛散のない Wet Type ESP を採用している例もある。（図 5-11）

バグフィルタの採用により厳しい排出規制を満足する事は可能であるが、現在の ESP の後にバグフィルタを設置した場合には、灰の微粒子のみがバグフィルタに供給されることになるのでバグで目詰まりを起こし、バグの逆洗が十分できなくなるトラブルの発生が懸念される。また、Kosovo の灰は粘着性が高いように思われるので、同様のトラブルの発生が懸念されるといったことから、バグフィルタの採用にあたっては、十分な事前検討が必要である。

各種システムを以下に示す。図中に示される略語は以下のものである。

- ・ SCR ; 脱硝装置 (Selective Catalytic Reactor)
- ・ AH ; 空気予熱器 (Air Preheater)
- ・ GGH ; Gas-Gas Heater (consist of Gas Cooler and Gas Reheater)
- ・ FGD ; 脱硫装置 (Flue Gas Desulfurizer)

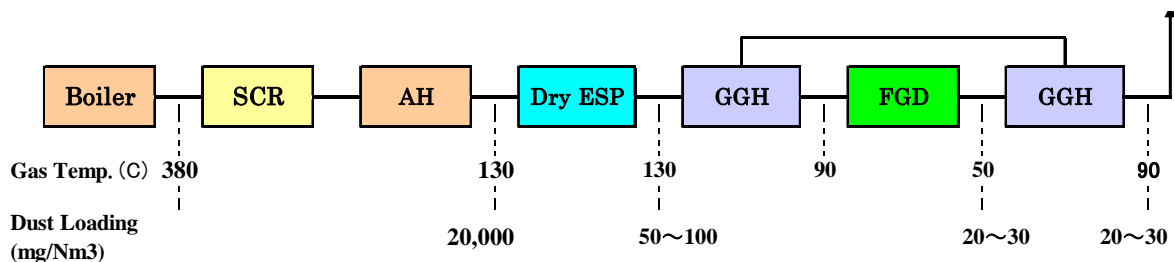


図 5 - 9 低温 ESP システム

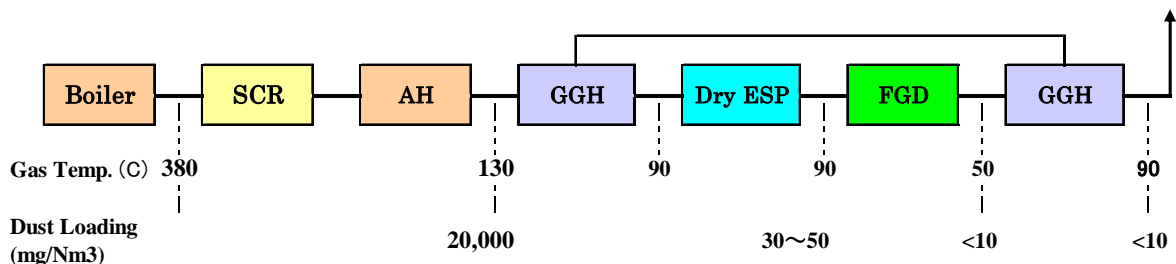


図 5 - 10 低低温 ESP System

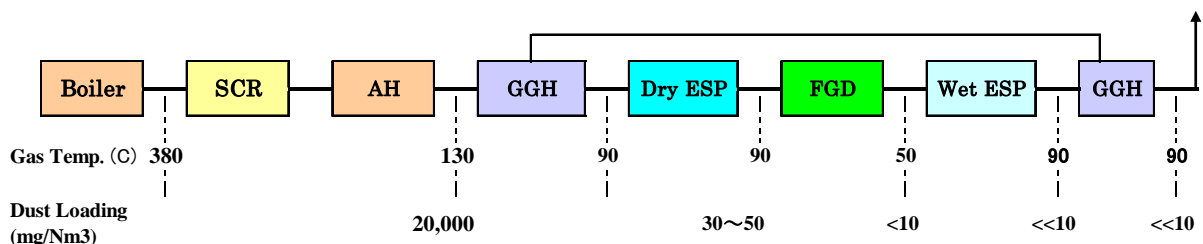


図 5 - 11 低低温 湿式 ESP System

5 - 3 NO_x 低減対策

NO_x 排出量の低減対策としては、発生量を減らす方法と、発生した NO_x を捕集する方法に大別される。石炭中の N 分は、燃焼過程で O₂ と反応して NO_x (Fuel NO_x) となるので、N 分の少ない石炭の調達が可能であれば NO_x 低減には有効な方法である。

燃焼用空気中の N₂ が高温雰囲気中で O₂ と反応して発生する NO_x (Thermal NO_x) は、燃焼状態を変える事により低減が可能である。低い過剰空気率で石炭を燃焼させる事は有効であり、過剰空気率の低減はボイラ効率の向上にも寄与するので、ボイラの運転上もっとも留意すべき事項である。ただし、極端に過剰空気率を下げると未燃分が増加するので、灰の色も確認しながら適切な過剰空気率（排ガス中の O₂ 濃度）を決定する必要がある。燃焼を悪くすれば NO_x が低下するわけではない。ダストや NO_x 低減には石炭を完全燃焼させる事が重要であり、バーナの運転、保守管理が必要である。

NO_x の生成は、ボイラの構造や燃焼装置の能力、使用する石炭の性状などによって異なるが、ELVs（現在 500mg/m³N、将来 200mg/m³N）を満足するためには、脱硝まで行わなくとも、2 段燃焼、一次空気系統の改善、低 NO_x バーナの採用で対応できる可能性が高いと思われる。

最近、低品位炭を燃焼するボイラとして循環流動層ボイラ (CFBC ; Circulating Fluidized Bed Combustion Boiler) が採用される例が増えてきている（ボイラ設備を更新する場合には一つの選

択肢となる)。循環流動層ボイラは、燃焼温度が 850℃程度で、石灰石を炉内に投入する（燃料中に多量に Ca を含んでいる場合には不要）と炉内で脱硫ができるのと、燃焼温度が低いので NO_x の発生が少ないことや、石炭の乾燥は炉内で行われるので複雑な燃焼装置を必要としないという特長がある。ただし、循環流動層ボイラでは極端な低 O₂ 運転を行った場合に N₂O が発生するとされており、注意が必要である。

図 5 - 1 2 は NO_x 低減対策として行われる方法を取りまとめたものである。

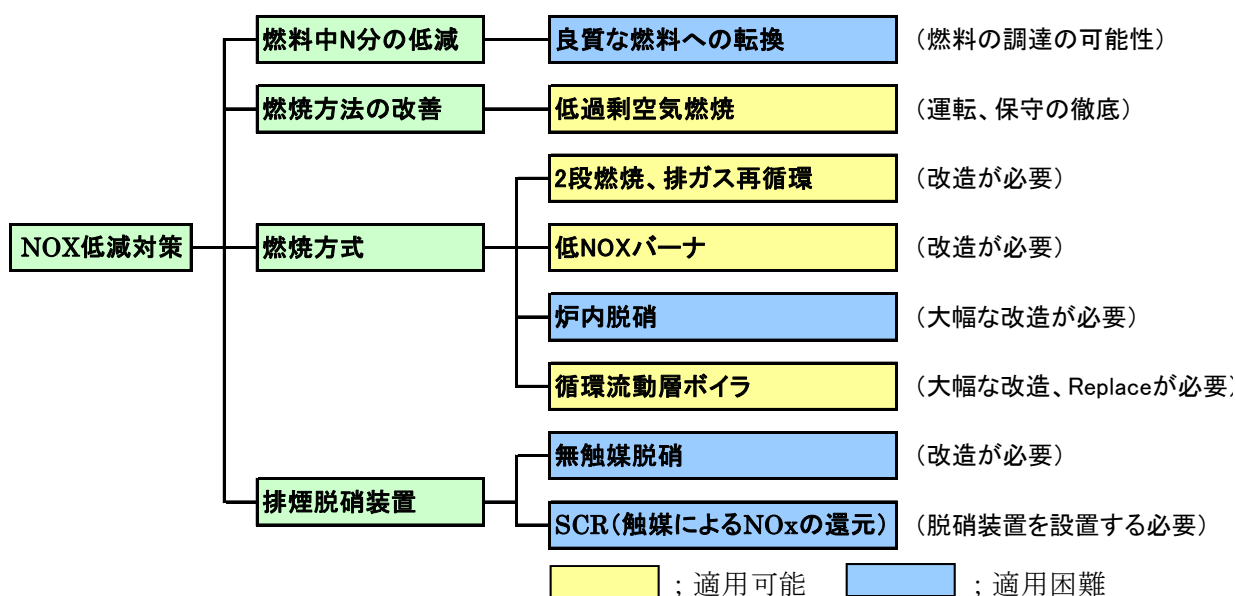


図 5 - 1 2 NO_x 排出量低減対策

(1) 低 NO_x バーナによる NO_x 低減対策

Kosovo A ボイラ, B ボイラでは Lignite を燃焼することから、一般炭を燃焼するボイラとはバーナでの燃焼用空気の投入状況が異なる。Kosovo の Lignite は多量の水分を含んでいることから、その乾燥の為に高温の燃焼ガスを炉内から吸引し、空気と石炭を混合したのちにミルで石炭を粉砕してバーナへ送り燃焼する方式を採用している。

図 5 - 1 3 は、一般炭 (Bituminous) と Lignite のバーナ周りの空気配分を比較したものであるが、石炭中の可燃分を燃焼するのに必要な総空気量には大きな差はなく、1 次空気、2 次空気の燃焼用空気の配分も大きな差はない。大きく異なるのは、バーナの 1 次空気ノズルから投入される (1 次空気 + 高温排ガス) の量である。一般炭焼きバーナは空気と微粉の混合物であるのに対し、Lignite 焼きバーナでは空気・微粉炭に燃焼排ガスが加わった混合物であり、その量は 2 倍以上となる。これは、Lignite の場合、燃料ノズルに送られる 1 次空気には、空気のほかに、乾燥用に使用する燃焼排ガスと、Lignite から蒸発した水分が多量に含まれているからである。

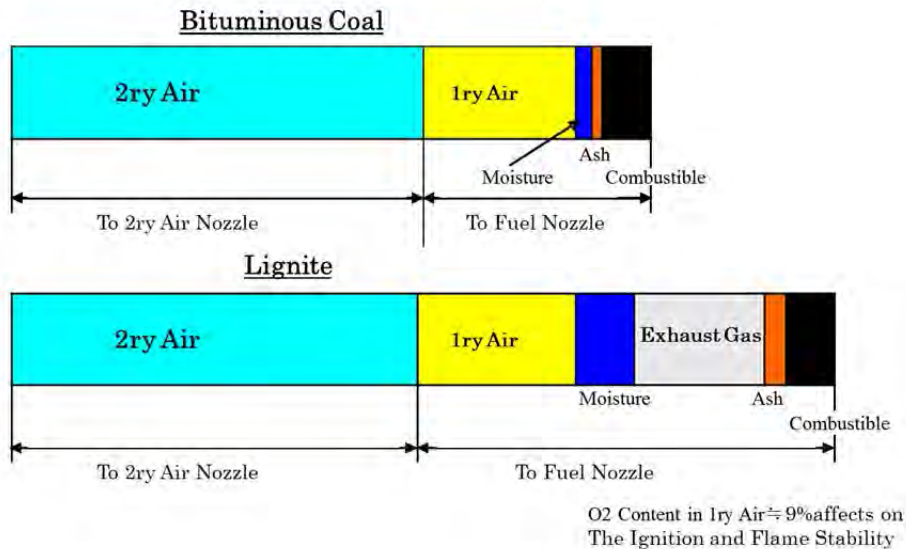


図 5 - 1 3 バーナから投入される空気と微粉炭

Lignite 焼きバーナの 1 次空気に含まれる O₂ 濃度は約 9%以下で不活性雰囲気 (Inert) となっている。O₂ 濃度が低く、ガス量が多いということは、バーナの着火に大きな影響を及ぼし、着火が悪いと安定した燃焼ができなくなる。

既設のバーナをそのまま使って NO_x 低減を行う方法としては、低 O₂ 運転、2 段燃焼 (Over Fire Air Nozzle の設置)、再循環ガスの混合などの方法が適用されるが、この方法で低減できる NO_x は、せいぜい 30~40%で、ELVs (EC 指令の排出基準) を達成することは難しいと思われる。さらに既設のバーナの 1 次空気の O₂ 濃度は約 9%以下であることから着火が安定しなくなると言う問題も懸念される。ELVs 達成のためには、さらなる低 NO_x 低減が必要であり、低 NO_x バーナへの換装は必須であると考えられる。

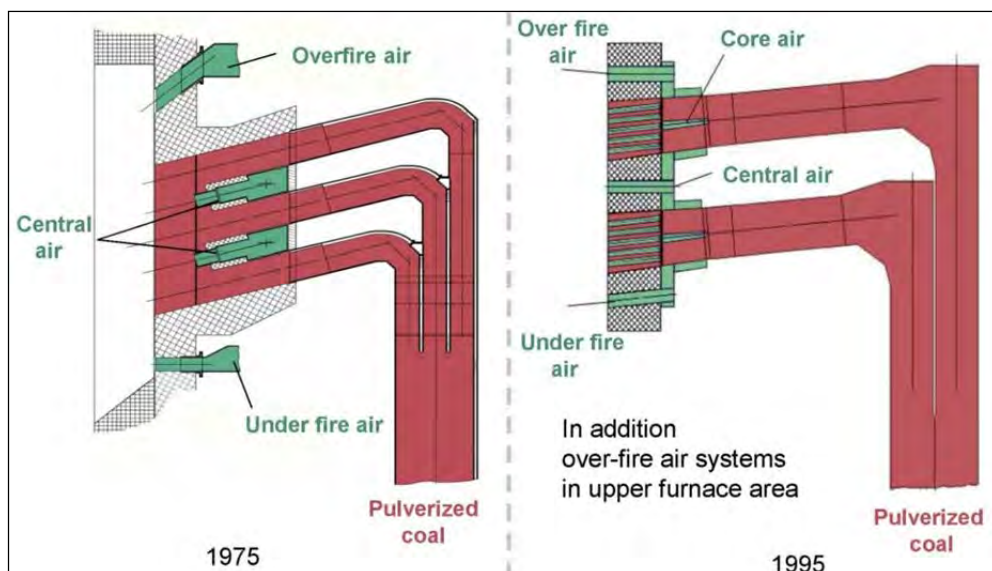


図 5 - 1 4¹⁶ 既設バーナと 2 段燃焼

¹⁶ HPE's Lignite Technology (Hitachi Power Europe GmbH 2013)

低 NO_x バーナはバーナから投入する微粉炭と空気の割合を調整して NO_x の生成を抑制するよう工夫されたバーナであり、微粉炭濃度の濃い領域と、薄い領域をバーナ内で実現するようになっており、微粉炭濃度の濃い領域は着火安定の向上にも寄与している。

(図 5 - 1 5)

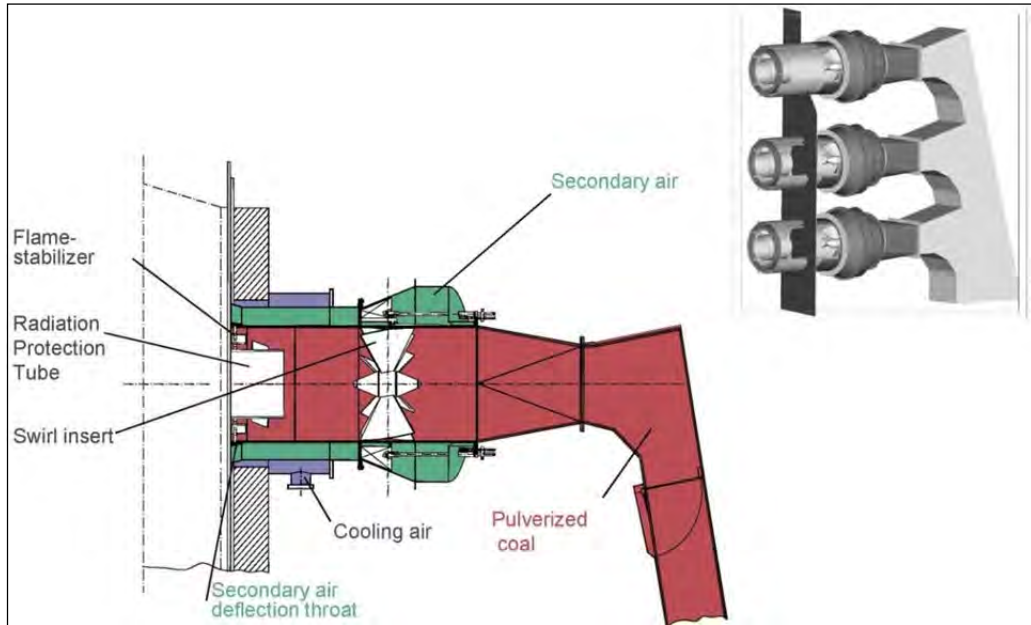


図 5 - 1 5¹⁶ Lignite 焼き低 NO_x Burner

Kosovo A ボイラ, B ボイラの場合、炉底部に大粒径の未燃分を燃焼させるためのストローカが設置されており、ここに供給される空気量が多い場合には、これらの空気が炉内の燃焼に悪影響を与え NO_x が十分に低減できない可能性が懸念される。そのような場合には、炉底部のストローカをなくすために、ミル出口の分級器での分級性能向上を行い大粒径の微粉炭をなくすことの検討も必要である。これらの対策を実施すれば EC 指令基準値をなんとか満足する事が可能と考えられる。

Lignite の燃焼にあたっては、Lignite に含まれる水分が極端に多い事が、燃焼装置の設計や、ボイラ効率で問題となる。そこで、最近では、Lignite の前処理として水分を減らし一般炭と同じレベルの 10~20%とする技術の開発が行われている。流動床で Lignite を加熱して水分を取り出す方式で、除去した水分を蒸気で大気に放出する方法と、水分を凝縮させて水として排出する方法があり、実際の適用にあたっては、Lignite 乾燥機まわりの熱バランス、排熱の活用と昇圧機所要動力、システムコストなどの比較を行って、どのシステムを採用するかを検討が必要である。(図 5 - 1 6 ~ 図 5 - 1 8)

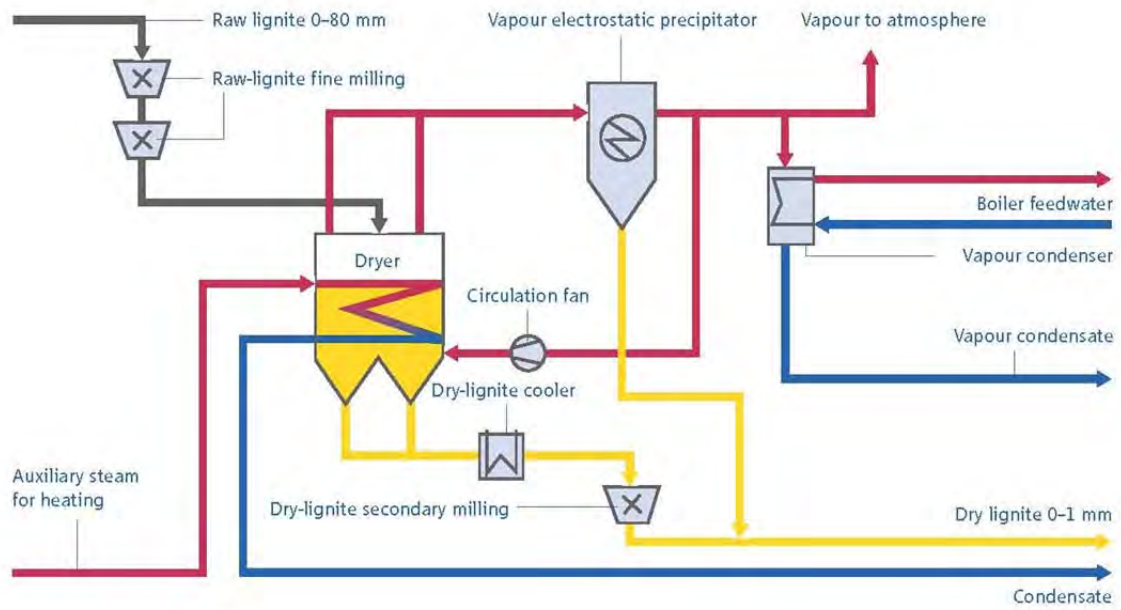


图 5 - 1 6¹⁷ Coal Drying System (by Auxiliary Steam/Waste Heat, Vapor Discharge)

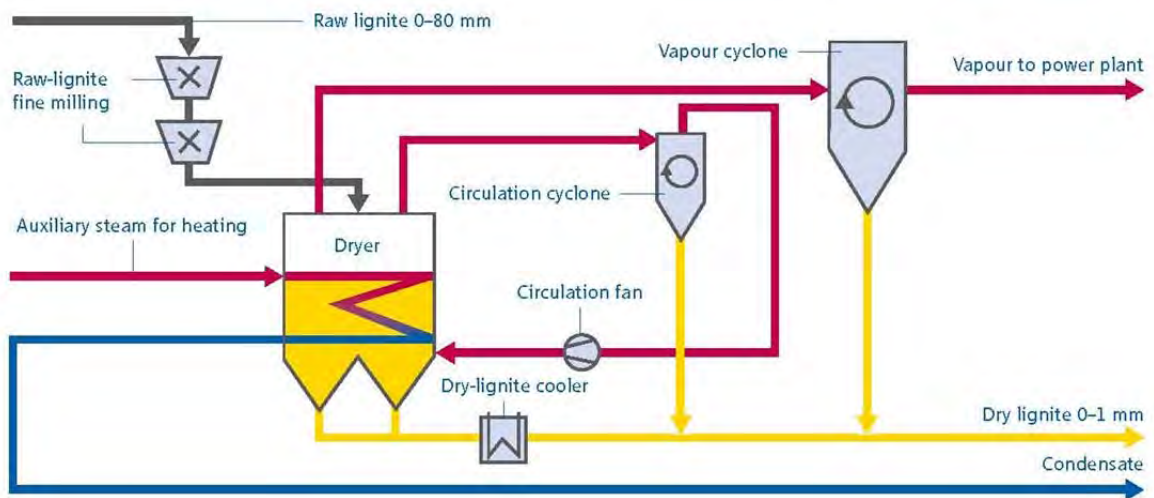


图 5 - 1 7¹⁷ Coal Drying System (by Auxiliary Steam/Waste Heat, Condensate recovery)

¹⁷ A modern process for treating and drying lignite (RWE Power 2009)

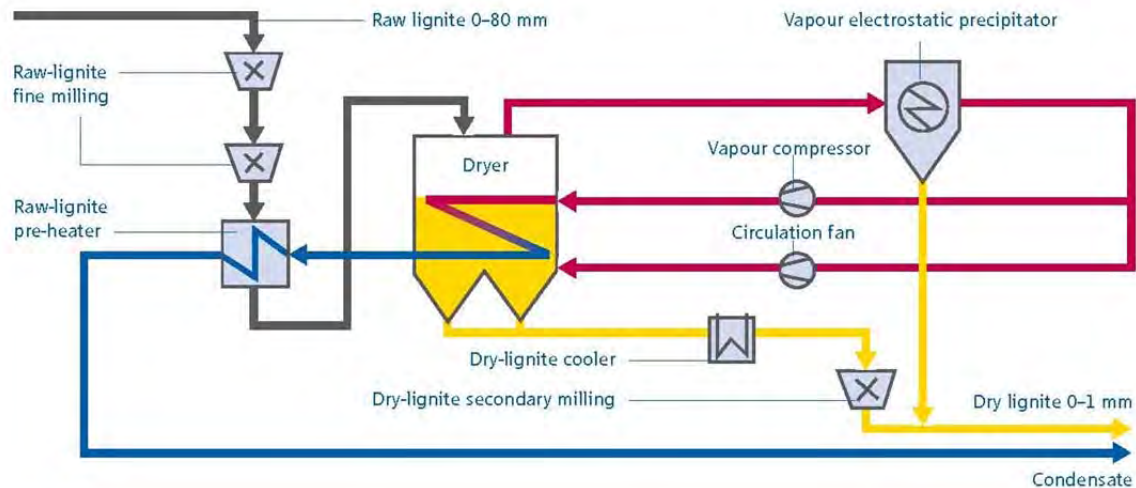


図 5 - 1 8¹⁷ Coal Drying System (by Compressor, Condensate recovery)

ボイラを新しく更新する場合には、低 NO_x バーナを備えた微粉炭焼きボイラか循環流動層ボイラを選定する案が考えられる。ボイラ効率や信頼性の面では特に差がないので、建設コスト、維持コストなどを考慮して選択することになる。

(2) 無触媒脱硝法 (SNCR; Selective Non-Catalytic NO_x Reduction)

ボイラの高温燃焼ガス域 (850~950℃) に NH₃ を注入すると、触媒なしで脱硝反応が発生する。これよりもガス温度が高いと NH₃ が分解して NO_x となり、ガス温度が低いと NH₃ が反応せずにそのまま排出される。通常のボイラでは、高温ガス域に NH₃ を注入して燃焼ガスと完全混合させる事が難しく、また、燃焼ガスがこのガス温度域に滞留する時間が短いことから、脱硝効率値は 30~40%にとどまる。なお、NO_x 規制値が 200 mg/Nm³ の場合には、高い脱硝率は必要とせず、低 NO_x バーナや、CFB (循環流動層ボイラ) で規制値を満足できない時の補助手段として採用することは可能である。

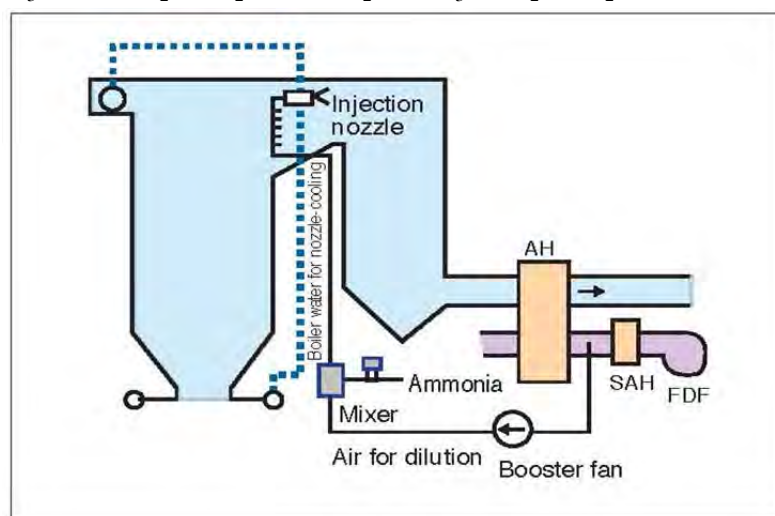
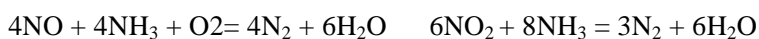


図 5 - 1 9 無触媒脱硝法¹⁸

¹⁸ NEDO : “日本のクリーンコールテクノロジー” 第 2 版 4 月, 2015

(3) 触媒脱硝法 (Selective Catalytic NO_x Reduction)

350℃付近の排ガスに NH₃ を吹き込み、触媒上で NO_x を無害な窒素と水に還元することにより脱硝する技術である。脱硝触媒には、格子型、ハニカム型、プレート型などがあり、高い脱硝効率を得る事ができる。但し Kosovo の灰には多量のアルカリ金属を含んでおり触媒を被毒し劣化させるおそれがあること、灰の量が多いために触媒の摩耗や、大粒径の灰による触媒の目詰まりを起こすおそれがあることから、脱硝装置の採用にあたっては十分な事前検討が必要である。

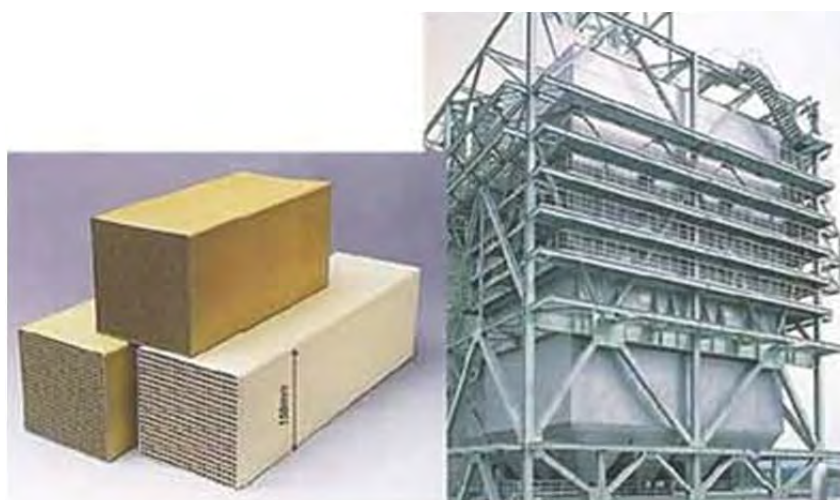


図5-20 触媒と排煙脱硝装置¹⁸

いずれの脱硝法も NO_x を還元するために NH₃ を必要とすることから、脱硝法の採用にあたっては NH₃ が安定して調達できるかの検討も必要である。

5-4 SO_x 低減対策

SO_x は、石炭中の S 分が酸化して生成するので、石炭中の S 分の量によって生成量は決まる。

もし、S 分の少ない石炭の調達が可能であれば SO_x 低減には有効な方法である。煙突を出た後の SO_x の大気への拡散を促進するために高い煙突を設けて、SO_x の着地濃度を下げる方法も古くから行われている。

生成した SO_x を除去する方法としては、石灰石を炉内に投入して CaO とし、850℃前後の温度域で反応させて石膏 (CaSO₄) として SO_x を回収する炉内脱硫法と、ボイラを出た後の煙道に脱硫装置を設置して石灰スラリと反応させて石膏 (CaSO₄) として SO_x を回収する湿式脱硫法がある。

炉内脱硫法で高い脱硫効率を得るには、SO_x との反応に必要な Ca の量を当価以上に注入する必要がある、反応で生成した石膏や、未反応の CaO などが煤塵量の増加となるので、煤塵対策についても注意が必要である。(なお、石炭中に Ca 分を多量に含まれている場合には、脱硫材として機能することもある)

循環流動層ボイラでは、燃焼温度が炉内脱硫に適した温度となっているが、微粉炭焼きボイ

ラでは反応に適した温度域での滞留時間は限られていることから、高い脱硫効率を得るには、石炭中の S 分に対し多量の Ca 分が必要となる。

図 5-21 は SO_x 低減対策として行われる方法を取りまとめたものである。

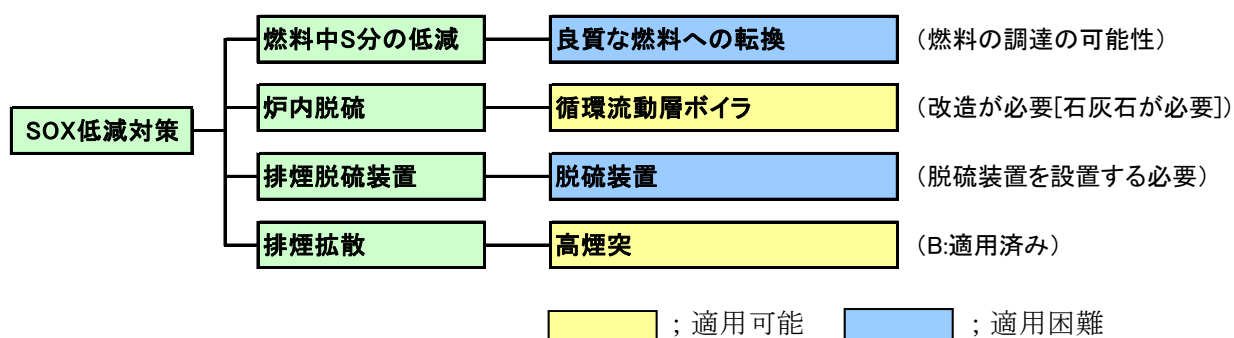


図 5-21 SO_x 排出量低減対策

(1) Kosovo A ボイラ, B ボイラの炉内脱硫について

炉内脱硫法とは、炉内に石灰石などの脱硫剤を投入して、硫黄酸化物 (SO_x) を反応除去する方法である。次式で示す反応により脱硫が行われるが、脱硫反応が効率よく行われるためには、適正なガス温度と十分な脱硫材比率と滞留時間が必要である。(図 5-22、図 5-23 は 1 例を示す)

【炉内脱硫反応】

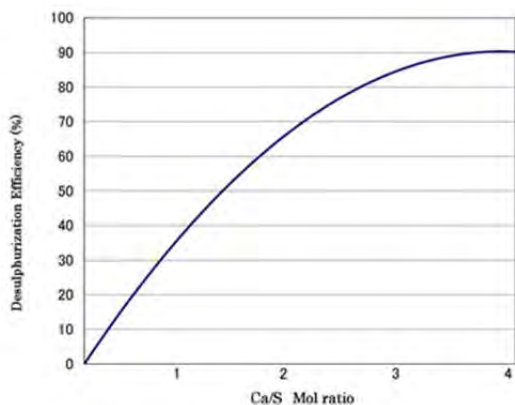
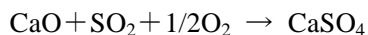
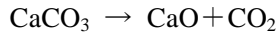


図 5-22 CFB の Ca/S と脱硫効率¹⁹

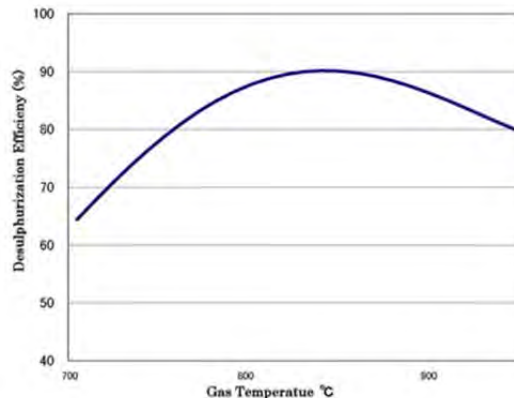


図 5-23 CFB のガス温度と脱硫効率¹⁹

Kosovo A ボイラおよび B ボイラで燃焼している Lignite には多量の Ca 分が含まれており、これが脱硫材として作用することで石灰石等の脱硫材を投入しなくとも、脱硫反応が進行しているものと考えられる。

脱硫反応には 2 つのポイントがあり、1 つ目は適した炉内のガス温度 (800~850°C)、2 つ目は反応に必要な時間である。炉内のガス温度については、Kosovo A ボイラ、B ボ

¹⁹ NEDO 石炭利用技術 (高度化排煙処理技術) 等の資料をもとに作成

イラとともに約 900°Cでありほぼ反応に適した温度である。一方、反応に必要な時間については、Kosovo A,B のような微粉炭燃焼ボイラでは、ガス温度が 800~850°Cになる領域は、火炉を出た後のボイラ伝熱面を通過する領域だけであり、反応に必要な時間を十分確保することは難しく、高い脱硫効率を得るために Ca/S の割合を高くしても脱硫効率には限界があるといえる。一方で、循環流動層ボイラ (CFBC) は、炉内の温度を脱硫に適した温度に維持して石炭を燃焼させるので、反応に必要な時間が十分得られる技術として挙げられる。

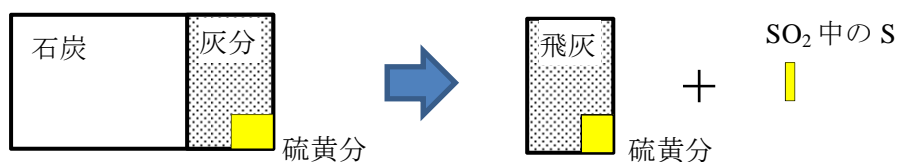
(2) 燃焼ガス中の SO_xについて

4-5節で示したように、Lignite 中の硫黄分には燃焼性硫黄が含まれる。サンプルの分析結果をもとに、燃料中の S 分が、ボイラで燃焼後にどの程度が灰の中に固定 (ほとんどは CaSO₄として灰の中に存在するようである) され、どの程度が SO_xとして排出されるかの概略検討を試みた。Lignite 中の灰分の分析は空气中で 815°Cに加熱灰化して測定する。815°Cは、CaO と SO_xが存在すれば、CaSO₄を生成するのに適した温度である。もし、SO_xに対し十分な割合の CaOがあれば、ほとんどの SO_xは CaO と反応して CaSO₄となるはずであるが、Lignite 分析を実施する際には分析装置内で CaO と十分に接触できなかった SO_xが検出されるものと思われる。一方、ボイラの燃焼においては、閉じられた空間で燃焼するので、脱硫反応に適正な温度域での滞留時間が確保できれば、炉内で浮遊する灰中の CaO と SO₂との反応が進み、分析結果で得られた全硫黄分と灰中硫黄分の差よりも少ない硫黄分が、SO_xとして排出されることになるはずである。

実際にボイラの中で起こっている炉内脱硫反応のプロセスを明らかにすることは、非常に難しいと考えられるが、ボイラへ投入された Lignite 中の S 分と、ボイラでの燃焼の結果として生成した Ash 中の S 分を比較する事により、どの程度の S 分が SO_xガスとして排出されることなく灰に取り込まれたかを推定する事ができるのではないかと考えて下記の試算を行った。

なお試算では SO_xは全て SO₂と仮定して算出している。

A-3 サンプルの Lignite 中の灰分は 27.96% (Ac)、全硫黄分は 1.44% (Sc)、(Dry Base) で、飛灰中の全硫黄分は 4.69% (Sa) であり、飛灰は Lignite 中の灰分に相当するので、飛灰中の硫黄分は元の Lignite から見れば、 $Sa \times (Ac/100) = 4.69 \times 0.2796 = 1.31$ (%) が、飛灰に捕捉された事になる。したがって、Lignite 中の硫黄分 $1.44 - 1.31 = 0.129\%$ が SO₂ガスとして放出された事になる。一方 Lignite 中の燃焼性 S は $1.44 - 1.16 = 0.28\%$ であり、この値より約 44%小さな数字となっている。



なお、A-3 サンプルの Lignite の元素分析結果から燃焼生成ガス量は、つぎのようにして求める事ができる。

元素分析結果 (乾ベース) ;
 C=45.28%, H=3.87%, N=0.82%, Combustible S=0.28% (全硫黄-灰中硫黄) , O=20.63%

理論乾ガス量； $V_{d0}=[8.89*C+21.1*(h-O/8)+3.33*S+0.8*N]/100=4.31$ (Nm³/kg dry-fuel)

理論空気量； $Ao=[8.89*C+26.7(h-O/8)+3.33S]/100=4.38$ (Nm³/kg dry-fuel)

EC 指令に従い、排ガス O₂=6.0%の実乾排ガス量を求めると（空気比； $m=1.394$ ）

実乾ガス量； $V_d=V_{d0}+(m-1)*Ao=6.04$ (Nm³/kg dry-fuel)

1 kg fuel 中の硫黄分は 1.29 g で硫黄分=1 g から 2 g の SO₂ が生成する（S の原子量 32 に対し、SO₂ の分子量は 64 のため）ので排ガス中の SO₂ 濃度は O₂=6%の実乾ガス中の濃度で評価されることから、 $SO_2=1.29*2/6.04*1000=427\text{mg}/\text{Nm}^3$ という結果が得られる。

同様のことをサンプル A-5 について行くと、Lignite 中の全硫黄分は $Sc=1.54\%$ 、灰分は $Ac=27.91\%$ （Dry Base）で、飛灰中の全硫黄分は $Sa=4.77\%$ であり、飛灰は Lignite 中の灰分に相当するので、飛灰中の硫黄分は元の Lignite から見れば、 $Sa*(Ac/100)=4.77*0.2791=1.33$ （%）が、飛灰に捕捉された事になり、Lignite 中の硫黄分 $1.54-1.33=0.21\%$ が SO₂ ガスとして放出された事になる。この時の Lignite 中の燃焼性 S は $1.54-1.11=0.43\%$ であり、やはりこの値より小さな数字となっている。元素分析から求めた O₂=6%の実乾ガス量= 6.133 (Nm³/kg dry-fuel)で、SO₂ 濃度は= $685\text{mg}/\text{Nm}^3$ という結果が得られる

さらに、サンプル B-1 について行おうとしたが、飛灰に捕捉された硫黄分の方が、Lignite 中の硫黄分よりも多い結果となり計算ができなかったが、この時には排ガス中の SO₂ 濃度は 0 ppm であった可能性が高い。

これらの結果から考えると、Lignite と Ash の分析結果の差は、分析値の有効数字の限界付近で議論している事から誤差を生む可能性があり、その差から SO₂ に転化した硫黄分を正確に求めることは難しい。

しかし、飛灰には多量の硫黄分が捕捉されており、炉内で脱硫反応が起こっているのは事実であり、マテリアルバランスによる検討は、実際に起こっていると考えられる炉内脱硫のメカニズムを解明していく上での一つの指針となると考える。

第 2 次派遣時に実施した自動連続測定機器による測定結果から、第 4 章に示したように SO₂ 濃度は 0 ppm が継続したり、高い時には 1,000 ppm に達したりすることもあり、非常に不安定な状況を示し、その原因の究明が必要である。Lignite の選択使用、石灰石の投入や、ボイラの運転方法の改善によって低い SO₂ 値を維持する事が可能であれば、脱硫装置をしないか、設置するとしても小容量のもので、ELVs（現在 400mg/Nm³、将来 200mg/Nm³）を満足できる可能性も考えられるので、今後、詳細な検討が必要である。

炉内脱硫により EC 指令の 2026 年規制値を満足できないようであれば、脱硫装置の設置についても検討を進める必要がある。

なお、上記の試算は厳密な Material Balance 計算ではなく概算検討であり、次の点を無視している。

- ・ Lignite 中の Ash 分の中には、硫黄が石膏として存在し、Lignite 中の Ca により生成した石膏の量で Ash の量が変わる。
- ・ Lignite 中の Ash 分の分析は 815°C で焼成するのに対しボイラで生成する Ash は温度、雰囲気ボイラが異なるので、生成した Ash の成分が全く同じではない
- ・ Ash の 10%ほどは主灰であるが、主灰中には石膏は少ない

しかし、主灰の影響や、生成した石膏による Ash 量の増加を考慮してもその影響は+

10%程度と考えられる。

また NO_x 対策として現状のバーナを低 NO_x バーナに更新する場合は、低 NO_x バーナの影響で燃焼雰囲気が変わり、脱硫が雰囲気の変化の影響を受け、変化する可能性があるため、注意が必要である。燃焼領域で脱硫が起こっている場合、脱硫は酸化雰囲気で行きやすい一方、低 NO_x バーナにより雰囲気が還元雰囲気になるため、脱硫率は低下すると予想される。一方、燃焼領域以降で起こっている場合は、酸化雰囲気が確保できることから影響はないと考えられる。

第6章 ワークショップ等その他活動のまとめ

LCPによる大気汚染に係る知識や情報の普及及び測定結果の周知としてワークショップおよび報告会を実施した。第1次派遣では、ワークショップを2回、その他ダスト濃度測定結果に関する報告会を1回実施した。第2次派遣ではワークショップを3回開催し、測定結果や環境対策の説明、議論のまとめ等を実施した。

また、その他 KHMI と今後の測定技術に関する打ち合わせも実施したので、その結果についても以下に述べる。

6-1 ワークショップ及び報告会

表6-1にワークショップ及び報告会の名称とその内容を再度示す。これらの活動をC/Pの理解の促進として実施した。

表6-1 ワークショップ及び報告会

第1次派遣 (2015年10月19日～11月12日)		
日時	ワークショップまたは報告会	内容
10月21日	第1回ワークショップ 日本における公害の歴史とダストの測定方法について	<ul style="list-style-type: none"> 日本における公害の歴史と法律等による対応、及び現状の規制値等について説明 ダスト濃度測定の方法とダスト濃度の算出方法について説明
11月2日	中間報告会 Kosovo A TPPにおけるダスト濃度測定結果について	<ul style="list-style-type: none"> Kosovo A TPPで測定したダスト濃度測定結果について説明 ダスト濃度測定の方法と測定方法について再度説明
11月10日	第2回ワークショップ Kosovo B TPPにおけるダスト濃度測定結果および、ボイラへの排ガス対策について	<ul style="list-style-type: none"> Kosovo B TPPで測定したダスト濃度測定結果について説明 ボイラにおける排ガス対策について、石炭ボイラを中心に説明
第2次派遣 (2016年3月7日～3月31日)		
3月22日	第1回ワークショップ Kosovo A および B TPP 測定結果報告と、煙道排ガス測定の規定について	<ul style="list-style-type: none"> Kosovo A TPP, B TPPにおけるダスト SO₂, NO_x 測定結果について報告 煙道排ガス測定に係る規定等についての説明
3月25日	第2回ワークショップ ボイラの排ガス対策と、日本における Lignite 等の分析結果、環境対策の他国における事例紹介	<ul style="list-style-type: none"> 石炭ボイラにおけるダスト、SO₂, NO_x の排ガス対策についての説明 Kosovo 発電所の Lignite 等の日本での分析結果についての説明 モンゴルプロジェクトの紹介
3月29日	第3回ワークショップ	<ul style="list-style-type: none"> 成果と今後の課題の協議と確認

6-1-1 第1次派遣：第1回ワークショップ

場所：環境空間計画省（MESP）

先方：C/P 関係者一同

日本における公害の歴史と公害4大病および公害に対応する法律の歴史と、第1次派遣に実施するダスト濃度測定のお考え、その原理・実施方法・ダスト濃度の算出方法について説明を実施した。

第1回目ワークショップは現地到着後3日目に開催し、特にダスト濃度測定に関してはC/Pは機器も見たことがないという状況下で実施したこともあり、参加者は興味を示したものの、具体的なイメージはあまりわかなかつたものと思われる。測定実施後（C/Pがダスト濃度測定見学後）に実施すべきであったと考えられる。

本ワークショップの場において、対象ボイラにおける飛灰、炉底灰のサンプルをとり、日本で分析すること及び日本とKosovoでの測定結果を比較することが了承された。



写真6-1 ワークショップ風景

6-1-2 第1次派遣：中間報告会

場所：MESP Conference Hall

先方：C/P 関係者一同

Kosovo A ボイラの測定がいったん完了した時点で、ダスト濃度測定方法の再説明と、測定結果について報告した。

C/Pのほとんどのメンバがダスト濃度測定の見学に来ていたことから、写真を付けて再度ダスト濃度測定方法についての説明も実施した。C/Pもダスト濃度測定の様子を見ていたことから理解が進んだと考えられる。

また、Kosovo A ボイラのダスト濃度測定結果について報告した。

ボイラのダスト濃度測定結果については、ダスト濃度測定自体を見るのがほとんどのC/Pにとって初めてであったこと、このダスト濃度測定から出てきた数値を見たこともほぼ初めてであったこと等から活発な議論が行われた。またC/Pの多くがELVsに示す排出値を改めて認識するといった状況であった。

以下のような質疑応答及び議論が進められた。

- ① ダストのELVsに対する質問があり、EC指令では $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、将来的には $20\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ になることを説明し、現状の排出値は大幅に超えていることを説明した。
- ② ダスト濃度測定値の正確性についての議論が進められた。第4章で述べたようにKosovo A ボイラのESP入側ダスト濃度が高すぎることで、測定結果の風量と計算上の風量が大きく異なることがデータの信頼性を疑問視する議論となった（第2次派遣で測定点を増加することにより解消した）。
- ③ 検知管による簡易測定ではあるものの、Lignite中のS分が多いにもかかわらず SO_2 の値

が低いことに関しては、異論はまったくでなかった（一般のボイラでは脱硫は大きな課題であるが、なぜ低い値を示すかといった知識は余りない様に思われた）。

初めてダスト濃度測定を見るといった事情はあるものの、ダスト濃度測定といった排出値の測定に対する認識の低さ、規制値である ELVs への不十分な認識、SO₂ が低いことに対する理由が把握できていないといった各種課題を認識できるワークショップであった。

ダスト濃度測定に関しては、自ら測定できるようになり、何度も繰り返して測定することで、数値を正確に把握していくことを強調したが、そのためにも第2次派遣時に再度測定を実施し、データ（ESP 入側ダスト濃度、風量等）の信頼性を上げることが重要であると判断された。

また、ダスト濃度については現状設置されているダスト濃度計が正しいとの前提で議論をしている面もあり、ダスト濃度計はダスト濃度測定の結果により補正されるものであるといった教育も行っていくことが必要であることも認識できた。

6-1-3 第1次派遣：第2回ワークショップ

場所：MESP Conference hall

先方：C/P 関係者、および KEK 関係者

第2回ワークショップはボイラに関する技術紹介を主体的に実施する予定であったことから、従来の C/P 関係者だけでなく、ボイラ運転機関である KEK からも多くの参加者があった。また、同ワークショップ内で Kosovo B ボイラの測定結果についても説明した。

(1) Kosovo B ボイラのダスト濃度測定結果について

Kosovo B ボイラの結果とともに、Kosovo A ボイラのダスト濃度測定結果についても議論が行われた。

- ① Kosovo A ボイラの結果については中間報告会とほぼ同じ議論となった。JET としても、第2次派遣でそのような点を考慮して再度測定を実施するとともに、そのような矛盾が生じた原因を考慮することとした。
- ② Kosovo B ボイラの結果については測定ガス量が少ないと考えられることを除けば、ダスト濃度は妥当であるとの KEK からの意見であった。

今回提示したダスト濃度の測定結果については、Kosovo B ボイラのダスト平均濃度が 350mg/Nm³ もあり、Kosovo A ボイラの数値とあまり変わらなかったことに全く言及がなかったことが不思議であった。

(2) ボイラについての説明

引き続き、ボイラ設計の考え方、環境への対応方法についての説明を実施した。内容としては以下のようなものを説明した。

- ① 石炭の分類について説明し、ボイラは石炭の性状に合わせて設計する必要があることを説明した。コソボでは Lignite を使用しており、この特徴をとらえた設計が必要となる。また環境対応として、日本のほとんどのボイラは、NO_x、SO_x、ダスト濃度の排出低減のため、脱硝装置（SCR）、脱硫装置（FGD）、ESP を設置している。
- ② 排ガス濃度を把握するためだけに測定するのではなく、測定した結果とボイラの操業条件との整合性（特にガス量）についてもチェックする必要がある。
- ③ SO_x、NO_x の生成に関する特性、ダストの発生に関する特性について説明した。
- ④ ボイラを効率良く運転するには、日常の運転／保守が重要である。



写真6-2 第2回ワークショップの様子

6-1-4 第2次派遣：第1回ワークショップ

場所：MESP Conference hall

先方：C/P 関係者、および KEK 関係者

第2次派遣で測定したダストの結果、および連続分析計による SO₂、NO_x の測定結果を報告した。また、同時に EC 指令による規制値、今回持ち込んだ連続分析計の各成分の測定原理およびボイラ煙突から発生した汚染物質の環境への影響の例を説明した。

測定結果について、ダストは特に Kosovo B ボイラ (B-2) の測定結果が高かったこと、SO₂ については Kosovo A ボイラ、Kosovo B ボイラともに、0mg/Nm³ になることもあれば、1,000mg/Nm³ 近くまで上がるという特異な現象を示していることを説明した。

(1) Kosovo A ボイラおよび Kosovo B ボイラにおける煙道排ガス測定結果について

- ① ダスト濃度測定結果について、Kosovo A ボイラおよび Kosovo B ボイラともに ELVs を大幅に超過していることを報告した。また、測定点ごとのばらつきも大きく真の平均値を出すことは難しいことを説明した。このような状況から現状の測定場所は代表性を持っていないことも説明した。
- ② NO_x 測定結果について、Kosovo A ボイラおよび Kosovo B ボイラともに ELVs を超過しており、低 NO_x バーナ等の採用が必須であることを説明した。
- ③ SO₂ 測定結果について、Kosovo A ボイラおよび Kosovo B ボイラともに、0～1,000mg/Nm³ まで変動するという特異な現象を示していることを説明した。

これらの対策については、第2回ワークショップで説明することを補足した。一方で、Kosovo A ボイラおよび Kosovo B ボイラともに現状の測定点（特に出側）での代表性がなく、適切な測定場所を選択することが重要で、新しい測定場所候補を推薦し了承された。

(2) 煙道排ガス測定に係る規定等についての説明

- ① EC 指令内に示す ELVs の説明を実施するとともに、EC 指令が CEMs による連続測定、Reference method による測定を要求していること、及びその測定方法等に関する要求事項を説明した。Kosovo の将来への対応については MESP Ms. Hakaj より詳

細な説明がなされた。

- ② 今回持ち込んだ自動連続測定機器の各成分の測定原理及び機器の使用方法・メンテナンスについて説明した。またさらに特にダストメータについての原理や検定方法を説明し、今回実施した測定方法（Isokinetic Sampling Method）が唯一のダストメータの検定方法であり、その技術の習得は重要であることを説明した。
また煙突から煙が見えたらほぼ $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ を超えていると判断できることを説明した。日本ではダストメータをつけてはいるが、通常運転員は常時煙突出口を監視しており、煙が見えたら日本の一般的規制値である $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ を超えていると判断し対応をとることが一般的に行われていることを補足した。
- ③ 環境基準の考え方を説明した。また簡単なシミュレーション結果を示し、煙突から出る有害物質の着地濃度の考え方を説明し、着地濃度と環境基準の関係について説明した。

Kosovo A ボイラの煙突から煙が出ているかという質問に対し、写真を提示し、煙が見えることから、ダスト濃度は $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ を超えていることがわかるという説明を行った。



写真 6-3 Kosovo A ボイラの煙突から出る排煙

また、採掘される Lignite は深さにより品質が変化し、この影響も大きいのではないかといった意見が出された。



写真 6-4 第1回ワークショップの様子

6-1-5 第2次派遣：第2回ワークショップ

場所：環境空間計画省（MESP）

先方：C/P 関係者一同、および KEK 関係者

Kosovo A ボイラ、B ボイラ対象のダスト対策、SO_x、NO_x 対策について、第一次派遣時に入手した情報、第1次派遣に持ち帰った Lignite 等の分析結果、第1次派遣・第2次派遣を通して測定した環境測定結果をもとに、石炭ボイラにおける環境対策について説明を実施した。

(1) ダスト対策について

Kosovo A ボイラと B ボイラの飛灰は粒径が比較的細かいと同時に Kosovo A ボイラと Kosovo B ボイラで粒径が異なっていること、同時に飛灰の電気抵抗率が異なり、特に現状の排ガス温度における Kosovo B ボイラの電気抵抗率は高く、ESP のダストの適切な捕集条件を満たしていないこと、また Kosovo A ボイラと Kosovo B ボイラともに入側の流速分布にばらつきが大きく ESP の集塵効率に影響を与えていること等を説明した。排ガス温度を下げることや、漏れ込み空気量/過剰空気量を減らすことによる排ガス体積流量の削減が現状の ESP の効率向上に寄与する可能性があることを説明した。今後のダスト対策についても現状を正確に把握することが非常に重要であると同時に、バグフィルタや ESP の特徴を説明し、計画に当たり注意すべき点を説明した。

(2) NO_x 対策について

NO_x の発生原理を説明すると同時に、NO_x 対策としての低 NO_x バーナ、無触媒脱硝（SNCR）、および触媒脱硝（SCR）を中心に説明した。特に Kosovo A ボイラと Kosovo B ボイラの NO_x 低減対策として低 NO_x バーナの採用で EC 指令達成の可能性があること、触媒脱硝を設置する場合には色々な注意点が多いことを説明した。

(3) SO_x 対策について

Kosovo A ボイラ、Kosovo B ボイラ ともに SO₂ が大きく変動しており、この変動に炉内脱硫が寄与している可能性があり、炉内脱硫の原理について説明した。但し Kosovo A ボイラ、Kosovo B ボイラともにどのように寄与しているかわからないことをコメントし、今後調査を継続することにより炉内脱硫の効果が改善する可能性があることを説明した。一方、排ガス処理としての脱硫設備の設置については大きな投資が必要であると同時に、操業も難しいことも説明した。CFB ボイラは低 NO_x、低 SO_x を実現できるので、脱硝装置や脱硫装置を設置しなくとも EC 規定を満足できる可能性があることを付け加えた。

(4) Lignite 等の分析結果について

日本に持ち帰って分析した Lignite、飛灰、炉底灰の詳細に分析した結果をもとに、Lignite、飛灰、排ガス中の S バランスを紹介し、Lignite 中の S には、熱を与えても分解し難い石膏の形で存在するものと、燃焼時に SO₂ となり炉内脱硫により CaO と反応するものがあり、現実に炉内脱硫が起こっている可能性があることを示した。

(5) 環境対策の他国における事例紹介

写真を中心に、現状のモンゴル国・ウランバートルの大気汚染状況を説明すると同時に、JICA の活動について説明した。



写真 6-4 第 2 回ワークショップの様子

環境対策に関し、最も関心が高いのは MESP と発電所の事業者である KEK であり、一般的な環境対策については一応の知識を有しているが、具体的に適用するにあたっての問題点、注意事項については全く知見が無く非常に興味深く聞いていた。Kosovo には石炭ボイラが二つしかなくかつ古い型式であるといった事情もあり、環境対策に関する知識・経験ともに不足している。現在の状況では十分に理解することは難しいと考えられる。また、設備を供与したヨーロッパのメーカーは問題点は教えていないようであり、また実運用に関する知識を備えたコンサルはあまり居ないと思われる。

6-1-6 第 2 次派遣：第 3 回ワークショップ

場所：環境空間計画省（MESP）会議室

先方：Ms. Hakaj Nezakete (MESP)、Mr. Lulzim Korenica(MED)、Mr. Agim Morina(KEK)、 Ms. Letafete Latifi(KHMI)、 Mr. Abdillillah Pirce((MESP)、 Ms. Qefsere Mulaku(KEPA)

今回の業務に関係する主担当者が集まり、第 1 次派遣、第 2 次派遣を通して、今回の派遣における成果を確認するとともに、派遣を通して得られた課題をまとめた。並行して、Kosovo 側よりその他課題として考えている事項について希望が述べられた。このワークショップの協議をもとに MOU はまとめられることとなった。

6-2 コソボ水理気象研究所（KHMI）との打ち合わせ

今回の JET 派遣で実施した煙道排ガス測定の習得のレベルについて議論し、今後の方針を検討するとともに、EC 指令内で他（特に Reference method）に要求されている測定項目の具体的な項目とその実施内容について協議した。

(1) 煙道排ガス測定について

- 自動連続測定機器用の標準ガスを購入することを確認した。ただし標準ガスの準備は始めたが手に入れるのに早くも 3~4 か月かかるとのことであった。
- C/P、JET とともに、煙道排ガス測定技術（特にダスト濃度測定）について、今回はデータ採取を優先したために十分に時間が取れなかったこともあり、今後とも教育が必要であることで合意した。

(2) イオンクロマトグラフについて

- SO_x、NO_xの Reference method として KHMI ラボが所有しているイオンクロマトグラフ機器を使用することが有力であることを確認した。ただし、運転のための調整・教育が必要であることを確認した。
 - 機器への対応として機器メーカーが 1 回現地を見てイオンクロマトグラフの状態を確認し何が必要か確認したのち、再度指導員が来て指導することになることを説明した。サンプリングは別途教育することが可能で、イオンクロマトグラフ戦力化のためには、機器確認に 1 週間、教育に 2 週間程度必要であることを説明した。
- (3) 水銀（排ガス中）の測定について
- EC 指令が Lignite を燃料として使用する場合、排ガス中の水銀を分析することを要求していることを確認した。
 - KHMI で水銀の分析ができることを確認し、サンプリング用の器具と技術移転が必要であることを確認した。
 - 水銀分析のための試薬としての KMnO₄（過マンガン酸カリウム）は、KHMI で入手可能であることを確認した。

第7章 成果と今後の課題

2回の派遣の活動成果および今後の課題をまとめた。これらの内容をC/Pと議論し合意を得た。また、この合意をもとにMOUを結んだ。下線を施した部分は、今次専門家派遣により開始したコソボ側のNERPにむけての努力を持続するために、コソボ側から年内の支援実施が強く要望された項目である。

7-1 専門家による煙道排ガス測定技術の移転

(1) 成果

- 1) ダスト濃度は Kosovo A ボイラ、B ボイラともに EC 規制値(現状 50mg/Nm³)を大幅に上回っていることを確認した。
 - EU から供与された ESP は仕様値 (Kosovo A ボイラ (A-3~A-5) : 50mg/Nm³、Kosovo B ボイラ : B1 : 150mg/Nm³、B2 : 260mg/Nm³) に対しても大幅に超過していることを確認した。
 - ボイラに備えられたダストメータは信頼できる値を示していないことを確認した。
- 2) 第2次派遣で持ち込んだ自動連続測定機器により、Kosovo A ボイラと B ボイラで SO₂、NO_x の測定を実施した。
 - NO_x はともに 700~800 mg/Nm³ (O₂=6% 換算) と安定していた。
 - SO₂ はともに 0 mg/Nm³~1,000 mg/Nm³ 付近まで大きく変動していることを確認した。

特に SO₂ については自動連続測定機器で測定したことにより、その現象が明確となり、大きな成果となった。

- 3) Kosovo B TPP に設置されている CEMs はメンテナンス上および検定に問題があることを確認した。
 - CEMs は煙突 90 m の位置でサンプルしているため、メンテナンスの実施するうえで安全上問題があり、新しいサンプリング位置を特定することが重要である。そのうえで、Kosovo B TPP は CEMs の移設を検討する必要がある (設置されている CEMs は EU より供与されたものである)。
 - EC 指令は CEMs の校正を CEMs 設置位置近傍で実施することを要求している。特にダストメータの校正のためにはダスト濃度測定 (等速吸引法) を実施する必要があるが、現状の設置場所はダスト濃度測定を実施するには危険かつ機器のハンドリングが困難である。

今後の環境監視のデータ採取に関し、今回測定を実施した ESP 出側の測定場所はデータのばらつきが大きく代表性をもつ測定点を特定できないことを確認した。

C/P と JET は、新たに代表性を持つ測定場所を特定することが必要であり、将来測定をする場合は代表性を持つと想定される測定場所を新たに設置することで合意した。

- 4) 煙道排ガス測定 of 技術移転に関して、データ採取を優先したため十分な時間を取れなかったこともあり、C/P と JET は C/P 測定担当者への技術移転は十分でなく、自

ら実施できるレベルに達したと言える状況にはならなかったことを確認した。C/Pからは技術移転に関するさらなる教育実施の要望があった。

- 5) EC 指令で要求される煙道排ガス測定の Reference method として、C/P は今後 KHMI が所有するイオンクロマトグラフを使用することを望んでいること、しかしながらイオンクロマトグラフ使用のための教育（サンプリング・分析）が必要であることを確認した。

また、EC 指令で要求される排ガス中の水銀測定について、分析は可能であるが排ガス中の水銀を測定するためのサンプリング方法の教育が必要であることを確認した。

(2) 課題と今後の方向性

- 1) 今回の調査により測定場所が適切でないことを確認し、今後測定を実施する場合の新たな測定場所を設置することとした。しかしながら、今後設置される測定場所の代表性を確認する必要がある。

代表性のある測定点の特定は EC への測定値報告のみでなく、今後ダストや SO₂ の挙動を調査していく上で重要な要素である。これらの調査に基づいて最適なダスト、SO₂ 削減対策が検討が可能となる。

- 2) EC は排出値の監視・モニタリングのための CEMs の設置を要求している。Kosovo B ボイラはこの CEMs を設置し、ダスト、SO₂、NO_x を監視しているが、設置位置に運転、メンテナンス上の問題があり現在は稼働していない。安全で適切な位置へ移動する必要がある。
- 3) C/P の煙道排ガス測定は、まだ自分達のみで実施できる状況にはない。技術習得のためには一段の教育と今後の経験の積み重ねが必要である。C/P と JET は KHMI が技術を習得することに重点を置いているが KEK も習得に興味を示している。
- 4) KHMI はイオンクロマトグラフ（日本製）を保有しているが、実際に測定に使用した経験はない。煙道排ガス測定の Reference method としてこのイオンクロマトグラフの使用を希望しているが、使用のためには JICA の支援が必要である。イオンクロマトグラフを使用するためには以下の項目が必要となる。
 - イオンクロマトグラフ法を実施するためにはサンプリングと機器の運転の教育が必要である。
 - イオンクロマトグラフ法を実施するためには、製造メーカーによる機器のセットアップと調整のために 1 週間の調査が必要である。
 - イオンクロマトグラフ法の実施には、製造メーカーによる 2 週間の運転教育が必要である。
- 5) 排ガス中の水銀の測定に関してはサンプリングと測定技術が必要である。
 - KHMI は測定機器を有し、測定技術についても経験がある。
 - KHMI はサンプリング技術の技術移転が必要である。

7-2 煙道排ガス測定データの ELVs 達成に向けた活用

(1) 成果

- 1) ダスト、NO_x は排出値（ELVs）を大幅に超えていることを認識した。特にダストに

については現状の ESP がその仕様値も超えていることも確認した。

- 2) NO_x は 700 ~ 800 mg/Nm³ (O₂=6%換算)と安定した値を示し、ELVs を超えており、何らかの対策が必要であることを確認した。
- 3) SO₂については 0~1,000mg/Nm³と大きく変動していることを確認した。大きく変動しているため実際の平均値をつかめない状況であった。今後その原因を追究することが重要であることを確認した。
- 4) 石炭焼きボイラのダスト、SO₂、NO_x 対策について主に日本で採用している対策について説明した。

(2) 課題と今後の方向性

- 1) 現状の ESP は各種因子の影響（排ガス温度、排ガス量、ESP 入口流速分布等）を受け本来の能力を発揮していない。ESP の能力低下の原因を調査するために、Lignite の性状、飛灰の性状とボイラ操業等との関係を解析する必要がある。これらの調査は ELVs 達成のための適切かつ効果的な対策をとるために必要なものであり、さらに ESP 増強の際には基礎データとなる。
- 2) SO_x、NO_x 対策は以下のようなになる。
 - NO_x はともに 700~800 mg/Nm³ (O₂=6%換算) と安定した値を示している。低 NO_x バーナの導入等対策の検討が不可欠である。
 - SO₂ は 0mg/Nm³ といった値を示すことからボイラ内で炉内脱硫が進行していることを示唆している。この現象を利用すれば効果的な対策を打てる可能性がある。この現象に影響する因子（CaO 含有量、燃焼温度、燃焼雰囲気 O₂ 等）を調査することで脱硫の改善または脱硫設備を設置せざるを得ない場合には、効果的・経済的な脱硫設備の仕様決定が可能となる。
 - SO₂ 変動の原因の究明には、Lignite・飛灰の分析、ボイラ操業との関係を明確にしていくことが対策を立てるうえで重要である。
 - SO₂ の現状について、Kosovo A ボイラ、B ボイラで各々少なくとも 1 か月程度の連続測定を実施し、実態を把握することが、事前調査として必要である。これらのデータは将来の SO₂ 変動のメカニズムを解析することをベースとなり、最適な脱硫プロセスを設計していくことを可能とする。
- 3) 石炭焼きボイラのダスト、SO_x、NO_x 対策について主に日本で採用している対策について説明し、その特徴とともにトラブル事例等も説明した。環境設備を導入する際には現状の Lignite やボイラの特性を十分に理解したうえで、適切な改善・改造技術を導入することが重要である。

7-3 エミッションインベントリ構築に向けた排ガス対策の検討・実施能力強化

(1) 成果

- 1) ダスト、NO_x については ELVs を明らかに超過しており、今後の対策が必須である。ダストに関しては現状の ESP がその仕様を満たしておらず改善が必要である。一方、NO_x については低 NO_x バーナの採用が不可欠であることを確認した。
- 2) SO₂ は大きく変動しており、その原因を解明することが今後の対策の検討に有効であることを確認した。

- 3) 現状のボイラの特性および Kosovo の Lignite の特殊性やボイラの特徴を考慮して適切な対策をとる必要があること、十分な検討なしではトラブルが生じる可能性があること、そのために調査が必要であることを確認した。
 - 4) 正しい排出値を測定するために、測定技術だけではなく、測定結果に関する解釈、適切な測定場所の選択、また EC 指令から要求される Reference method 等について説明したが、C/P はこれを理解することが重要であることを確認した。
- (2) 課題と今後の方向性
- 1) ダスト、NO_xについては改善・対策が必須である。ダストについては集塵システムの現状調査を実施する必要がある。また、NO_xについては低 NO_xバーナの導入が必須であり、その検討を実施する必要がある。
 - 2) SO₂については大きく変動しており、0mg/Nm³といった値を示すことが炉内脱硫の可能性を示唆しており、その原因を追究する必要がある。
 - 3) Kosovo の Lignite は Ca が高いというだけでなく、発熱量が低い、水分が多いといった特徴を有しており、その特殊性を考慮した環境対策が必要である。
 - 4) 今後排出値の CEMS による監視、Reference Method による確認といった測定技術の習得が必要となる。また測定値の代表性を示す測定場所の特定も重要な作業となる。

7-4 ワークショップの開催

合計 5 回のワークショップと 1 回の中間報告会を実施した。

- 1) 第 1 次派遣：1 回目ワークショップ：日本の環境問題とダスト濃度測定方法の説明を実施。
- 2) 第 1 次派遣：1~2 回目のワークショップ間の中間報告会：Kosovo A ボイラのダスト濃度測定結果を報告。
- 3) 第 1 次派遣：2 回目ワークショップ：ボイラの燃焼計算等、石炭ボイラに関する一般的事項および一般的なボイラのダスト、NO_x、SO₂ 対策の説明を実施。同時に Kosovo B ボイラのダスト濃度測定結果を報告
- 4) 第 2 次派遣：1 回目ワークショップ：Kosovo A ボイラ、B ボイラのダスト NO_x、SO₂ 濃度測定結果を報告。煙道排ガス測定に係る規定等について説明を実施。
- 5) 第 2 次派遣：2 回目ワークショップ（：石炭ボイラにおける排ガス対策、Kosovo 発電所の Lignite 等の日本での分析結果についての説明、環境対策の他国における事例紹介を実施。
- 6) 第 2 次派遣：3 回目ワークショップ：C/P と本業務の成果と今後の課題についての協議を実施。

以上のワークショップおよび中間報告会を通して、現状の Kosovo A ボイラ、B ボイラの煙道排ガスの状況を説明するとともに、その対策等についての提言を実施した。

付属資料－ 1 C/P リスト

Ms. Hakaj Nezakete	in charge of NERP development	MESP
Mr. Abdullah Pirce	in charge of measurement (1/4)	MESP
Ms. Letafete Latifi	Director of KHMI in charge of Ion Chromatograph	KEPA Hydrometeorological Institute of Kosovo (KHMI)
Mr. Agron Shala	Chief Engineer in charge of measurement (2/4)	KHMI
Mr. Mentor Shala	Sector for soil in charge of measurement (3/4)	KHMI
Mr. Shkumbin Shala	Sector for Air in charge of measurement (4/4)	KHMI
Mr. Lulzim Korenica	in charge of NERP development	MZHE-MED
Ms. Anbenerha ysuy		MZHE-MED
Ms. Qefsere Mulaku		Instituion MMPH
Ms. Visare Hoxha Istrefi		MESP
Mr. Agim Morina		KEK-Dep.i mjedisit
Mr. Sabri Simnica	Sector of Environment in charge of Safety of Kosova A Boiler information coal sampling etc.	KEK, Kosova A
Mr. Xhemajl Sejdiu	Chief Engineer in charge of Safety of Kosova B Boiler information coal sampling etc.	KEK, Kosova B
Mr. Milaim Kelmendi	Department for Environment, KEK	KEK, Kosova B
Mr. Zeqirtahta Htseni		KEK, Kosova B
Mr. Salsit Resfelicu		MMPH-AMMK

付属資料－２ 測定結果資料

２－１ Kosovo A ボイラ測定結果

２－１－１ Kosovo A ボイラ操業運転データ

(1) 10月27日(第1次派遣)測定時の Kosovo A-5 ボイラ操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo A-5 boiler)

27th Oct. 2015

	Item	Date Time Unit	27 th Oct.	27 th Oct.
			10:10	15:30
1	Power generation	MW	158	158
2	Ambient Air Condition (Temp.)	°C		
3	(Humidity)	%		
4	Evaporation	T/h	580	580
5	Steam Temperature	°C	510	509
6	Steam Pressure	atg.	80	86
7	Feed Water Temperature	°C	155	160
8	Coal Analysis			
9	Coal Consumption	T/h	220	220
10	Combustion Air Flow Rate	%		
11	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-3/-5	-3/-5
12	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O		
13	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-220/-250/-240	-240/-250/-240
14	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O		
15	Burner Inlet Air Temperature	°C	260/260/260	260/260/260
16	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	280/280/280	280/290/280
17	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	180/180/190	190/190/200
18	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C		
19	Stack Inlet Gas Temperature	°C		
20	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	6.2/6.2	6.2/6.2
21	O ₂ Content at Stack inlet	%		
22	Feed Water Control Valve Opening	%		
23	Forced Draft Fan Motor Ampere	A	42/60/39	42/60/33
24	Damper Opening	%	40/40/50	43/45/54
25	Outlet Draft	mmH ₂ O	110/110/110	110/110/110
26	Induced Draft Fan Motor Ampere	A	115/120/115	125/115/115
27	Damper Opening	%	90/90/90	95/95/95
28	Inlet Draft	mmH ₂ O		-360/-370/355
29	Outlet Draft	mmH ₂ O		
30	Dust Content (at ESP inlet)	mg/Nm ³		
31	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³	31/41/-	29/43/-
32	SOX Content (at Stack inlet)	ppm		
33	NOX Content (at Stack inlet)	ppm		
34	CO Content (at Stack inlet)	ppm		

(2) 10月29日(第1次派遣)測定時の Kosovo A-3 ボイラ操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo A-3 boiler)29th Oct. 2015

	Item	Date Time Unit	29 th Oct	29 th Oct
			10:30	15:30
1	Power generation	MW	128	135
2	Ambient Air Condition (Temp.)	°C	24	26
3	(Humidity)	%	6	6
4	Evaporation	T/h	500	530
5	Steam Temperature	°C	570	515
6	Steam Pressure	atg.	74	80
7	Feed Water Temperature	°C	158	150
8	Coal Analysis			
9	Coal Consumption	T/h	220	230
10	Combustion Air Flow Rate	%		
11	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-2/-5	-2/-3
12	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O		
13	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O		
14	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O		
15	Burner Inlet Air Temperature	°C	240/250/240	240/240/250
16	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	190/180/195	190/190/190
17	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C		
18	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C		
19	Stack Inlet Gas Temperature	°C		
20	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	7.7/6.4/7.6	6.9/5.5/7.2
21	O ₂ Content at Stack inlet	%		
22	Feed Water Control Valve Opening	%		
23	Forced Draft Fan Motor Ampere	A	36/39/35	38/-/32
24	Damper Opening	%	22/20/20	45/-/50
25	Outlet Draft	mmH ₂ O		
26	Induced Draft Fan Motor Ampere	A	95/85/100	85/86/94
27	Damper Opening	%	70/72/65	80/76/55
28	Inlet Draft	mmH ₂ O		
29	Outlet Draft	mmH ₂ O		
30	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/m ³ N		
31	Dust Content (at Stack inlet)	mg/m ³ N	65/59/50	65/59/54
32	SOX Content (at Stack inlet)	ppm		
33	NOX Content (at Stack inlet)	ppm		
34	CO Content (at Stack inlet)	ppm		

(3) 3月10日(第2次派遣)測定時の Kosovo A-4 ボイラ操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo A-4 boiler)10th Mar. 2016

	Item	Date Time Unit	10 th Mar.	10 th Mar.	
			10:00	14:00	
1	Power generation	MW	130	120	
2	Ambient Air Condition (Temp.)	°C	33	30	
3	(Humidity)	%			
4	Evaporation	T/h	510	490	
5	Steam Temperature	°C	520	520	
6	Steam Pressure	atg.	71	66	
7	Feed Water Temperature	°C	158	158	
8	Coal Consumption	T/h	240	230	6 mills
9	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-2/-3	-1/-3	
10	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	143/-141/-145		
11	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-215/-220/-222	-145/-140/-142	
12	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O			
13	Burner Inlet Air Temperature	°C	245/245/245	243/242/241	
14	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	305	305	
15	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	175/185/182	180/185/185	
16	Stack Inlet Gas Temperature	°C			
17	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	6.1/6.7/6.7	6.8/7.7/7.6	
18	O ₂ Content at Stack inlet	%			
19	Forced Draft Fan Motor Ampere	A	42/39/39	43/40/37	
20	Damper Opening	%	10/15/16	10/15/15	
21	Outlet Draft	mmH ₂ O	39/40/39	32/33/33	
22	Induced Draft Fan Motor Ampere	A	86/91/90	89/87/	
23	Damper Opening	%	62/60/63	60/57/61	
24	Inlet Draft	mmH ₂ O	-210/-231/-215	-200/-195/-210	
25	Outlet Draft	mmH ₂ O			
26	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/Nm ³			
27	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³			
28	SOX Content (at Stack inlet)	ppm			
29	NOX Content (at Stack inlet)	ppm			
30	CO Content (at Stack inlet)	ppm			

(4) 3月11日(第2次派遣)測定時の Kosovo A-3 ボイラ 操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo A-3 boiler)11th Mar. 2016

	Item	Date Time Unit	11 th Mar.	11 th Mar.	
			10:00	14:00	
1	Power generation	MW	145	137	
2	Ambient Air Condition (Temp.)	°C	29	30	
3	(Humidity)	%			
4	Evaporation	T/h	545	535	
5	Steam Temperature	°C	520	520	
6	Steam Pressure	bar	77	72	
7	Feed Water Temperature	°C	150	152	
8	Coal Consumption	T/h	225	220	5mills
9	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-2/-3	-1/-2	
10	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O			
11	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-140/-170/-170	-160/-180/-180	
12	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O			
13	Burner Inlet Air Temperature	°C	242/250/238	242/245/230	
14	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	320	318	
15	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	195/195/195	188/172/192	
16	Stack Inlet Gas Temperature	°C			
17	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	6.5/5.4/5.5	5.6/5.9/5.9	
18	O ₂ Content at Stack inlet	%			
19	Forced Draft Fan Motor Ampere	A	38/35/36	30/38/35	
20	Damper Opening	%	20;/20/24	20;/20/25	
21	Outlet Draft	mmH ₂ O			
22	Induced Draft Fan Motor Ampere	A	78/82/82	90/80/90	
23	Damper Opening	%	60/65/65	70/65/80	
24	Inlet Draft	mmH ₂ O			
25	Outlet Draft	mmH ₂ O			
26	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/Nm ³			
27	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³			
28	SOX Content (at Stack inlet)	ppm			
29	NOX Content (at Stack inlet)	ppm			
30	CO Content (at Stack inlet)	ppm			

2-1-2 Kosovo A ボイラ測定結果(データ)まとめ

(1) 10月27日(第1次派遣)Kosovo A-5 ボイラ 測定結果(データ)まとめ

Measurement Results of Exhaust gas at Kosovo A-5 TPP

27th Oct. 2015

Measurement point		A-5 Inlet-A	A-5 Inlet-B	A-5 Inlet-C	A-5 outlet-A	A-5 outlet-B	A-5 outlet-C
Wet Exhaust gas volume	Nm ³ /h	318,000	428,000	404,000	215,000	154,000	178,000
Dry Exhaust gas volume	Nm ³ /h	278,000	375,000	354,000	186,000	135,000	156,000
Gas velocity	m/s	17.3	19.6	18.5	19.2	13.8	15.9
Exhaust gas temperature	°C	172	176	176	179	180	180
Water content	%	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4
Static pressure	kPa	-2.4	-2.4	-2.4	-2.8	-2.8	-2.8
Composition (%)	CO ₂ (%)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
	O ₂ (%)	12.0	11.5	12.0	12.0	11.5	12.0
	CO(ppm)	59	80	107	59	80	107
	N ₂ (%)	77.0	77.5	77.0	77.0	77.5	77.0
Dust Content	g/Nm ³	52.492	4.225	3.495	0.237	0.186	0.070
Dust Content at O ₂ = 6%	g/Nm ³	87	6.7	5.8	0.395	0.294	0.117
Detection tube (NO _x)	ppm	250					
NO _x (NO ₂) at O ₂ = 6%	mg/Nm ³	856 (417ppm)					
Detection tube (SO ₂)	ppm	110					
SO ₂ at O ₂ = 6%	mg/Nm ³	524 (183ppm)					

Power voltage	—	230V	230V
Length of the power cable	—	25m Cable reel + 20m extension cable	25m Cable reel
Length of the sampling hose	m	30m	30m
The place of the instruments	—	right below	right below
Length of the sampling pipe	m	1.0m	1.0m
Length of the Pitot tube	m	2.0m	4.0m
Reference	—	Dusty environment, and dark place	Dusty environment, and dark place

(2) 10月29日(第1次派遣)Kosovo A-3 ボイラ測定結果(データ)まとめ

Measurement Results of Exhaust gas at Kosovo A-3 TPP

29th Oct. 2015

Measurement point		A-3 Inlet-A		A-3 Inlet-C		A-3 outlet-A	A-3 outlet-B	A-3 outlet-C
Wet Exhaust gas volume	Nm ³ /h	335,000		343,000		189,000	176,000	174,000
Dry Exhaust gas volume	Nm ³ /h	297,000		304,000		168,000	156,000	154,000
Gas velocity	m/s	16.4		16.8		17.6	16.6	15.9
Exhaust gas temperature	°C	212		210		202	210	193
Water content	%	11.3		11.3		11.3	11.3	11.3
Static pressure	kPa	x -1.6		-1.8		-2.0	-2.0	-2.0
Composition (%)	CO ₂ (%)	9.6		7.8		9.6	11.8	7.8
	O ₂ (%)	12.4		14.2		12.4	10.2	14.2
	CO(ppm)	29		53		29	59	53
	N ₂ (%)	78.0		78.0		78.0	78.0	78.0
Dust Content	g/Nm ³	UP	Down	UP	Down	0.1770	0.0225	0.0230
		112.51	82.19	56.897	183.77			
Dust Content at O ₂ = 6%	g/Nm ³	196	143	126	405	0.309	0.0313	0.0507
Detection tube (NO _x)	ppm	400						
NO _x at O ₂ = 6%	mg/Nm ³	1,433 (698ppm)						
Detection tube (SO ₂)	ppm	0						
SO ₂ at O ₂ = 6%	mg/Nm ³	0(0ppm)						

Power voltage	—	230V		230V	
Length of the power cable	—	25m Cable reel + 20m extension cable		25m Cable reel	
Length of the sampling hose	m	30m		30m	
The place of the instruments	—	right below		right below	
Length of the sampling pipe	m	1.0m		1.0m	
Length of the Pitot tube	m	2.0m		4.0m	
Reference	—	Dusty environment, and dark place		Dusty environment, and dark place	

(3) 3月10日(第2次派遣)Kosovo A-4 ボイラ測定結果(データ)まとめ

Measurement Results of Exhasut gas at Kosovo A-4 TPP

10th Mar. 2016

Measurement point		A-4 outlet A duct	A-4 outlet B duct	A-4 outlet C duct
Wet Exhasut gas volume	Nm ³ /h	476,000	457,000	441,000
Dry Exhasut gas volume	Nm ³ /h	393,000	377,000	364,000
Gas velocity	m/s	27.3	26.6	25.0
Exhasut gas temperature	°C	184	191	178
Water content	%	17.4	17.4	17.4
Static pressure	kPa	-2.0	-2.0	-2.0
Composition (%)	CO ₂ (%)	9.2	9.0	9.2
	O ₂ (%)	10.8	11.0	10.8
	CO(ppm)	140	61	94
	N ₂ (%)	80.0	80.0	80.0
Dust Content	g/Nm ³	0.144	0.118	0.200
Dust Content (O ₂ at 6%)	g/Nm ³	0.225	0.184	0.306
TEMP (Ave)	°C	197	199	186
O ₂ (PG-350)(Ave)	%	11.4	11.4	11.2
CO ₂ (PG-350)(Ave)	%	9.3	9.3	9.5
CO(PG-350)(Ave)	ppm	53	24	40
Nox (PG-350)(Ave)	ppm	177	192	190
	mg/Nm ³	363	394	390
Nox O ₂ at 6%)	ppm	277	300	291
	mg/Nm ³	567	615	596
SO ₂ (PG-350)(Ave)	ppm	0	0	0
	mg/Nm ³	0	0	0
SO ₂ O ₂ at 6%)	ppm	0	0	0
	mg/Nm ³	0	0	0

Power voltage	—	230V
Length of the power cable	—	25m Cable reel
Lengthh of the sampling hose	m	30m
The place of the instruments	—	right below
Lengthh of the sampling pipe	m	1.0m
Lengthh of the Pitot tube	m	4.0m
Reference	—	Dusty environment

(4) 3月11日(第2次派遣)Kosovo A-3 ボイラ測定結果(データ)まとめ

Measurement Results of Exhasut gas at Kosovo A-3 TPP

11th Mar. 2016

Measurement point		A-3 outlet A duct	A-3 outlet B duct	A-3 outlet C duct
Wet Exhasut gas volume	Nm ³ /h	491,000	420,000	470,000
Dry Exhasut gas volume	Nm ³ /h	437,000	374,000	419,000
Gas velocity	m/s	28.5	24.0	26.9
Exhasut gas temperature	°C	192	188	187
Water content	%	10.9	10.9	10.9
Static pressure	kPa	-2.5	-2.0	-2.3
Composition(%)	CO ₂ (%)	10.7	11.0	11.2
	O ₂ (%)	10.3	9.0	8.8
	CO(ppm)	46	20	23
	N ₂ (%)	79.0	80.0	80.0
Dust Content	g/Nm ³	0.663	0.524	0.815
Dust Content (O ₂ at 6%)	g/Nm ³	0.912	0.715	0.986
TEMP (Ave)	°C	194	212	194
O ₂ (PG-350)(Ave)	%	10.1	10.0	8.6
CO ₂ (PG-350)(Ave)	%	10.2	12.0	12.1
CO(PG-350)(Ave)	ppm	22	25	32
Nox (PG-350)(Ave)	ppm	220	231	217
	mg/Nm ³	451	474	445
Nox O ₂ at 6%)	ppm	303	315	263
	mg/Nm ³	621	646	538
SO ₂ (PG-350)(Ave)	ppm	144	203	214
	mg/Nm ³	412	581	612
SO ₂ O ₂ at 6%)	ppm	198	279	294
	mg/Nm ³	567	799	842

Power voltage	—	230V
Length of the power cable	—	25m Cable reel
Lengthh of the sampling hose	m	30m
The place of the instruments	—	right below
Lengthh of the sampling pipe	m	1.0m
Lengthh of the Pitot tube	m	4.0m
Reference	—	Dusty environment

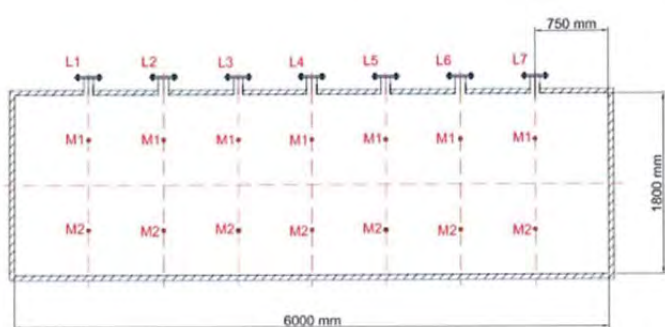
2-1-3 Kosovo A ボイラ測定結果(詳細)

(1) Kosovo A ボイラ測定点 (A-3、A-5 と同じ)

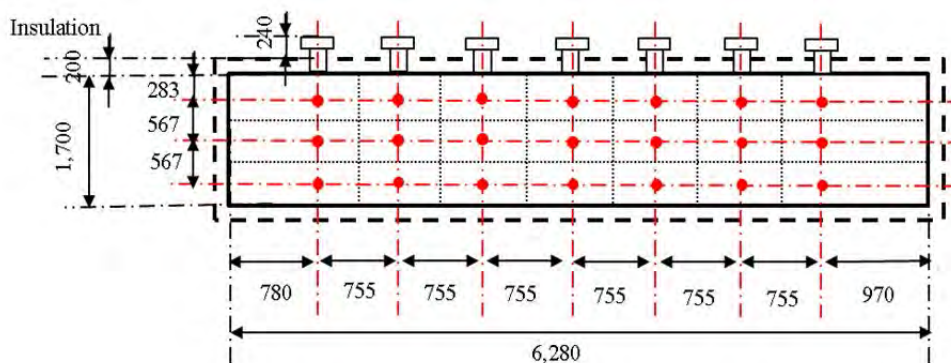
① 入側測定点

水平ダクトで測定 (下記は垂直断面)

➤ 第1次派遣



➤ 第2次派遣



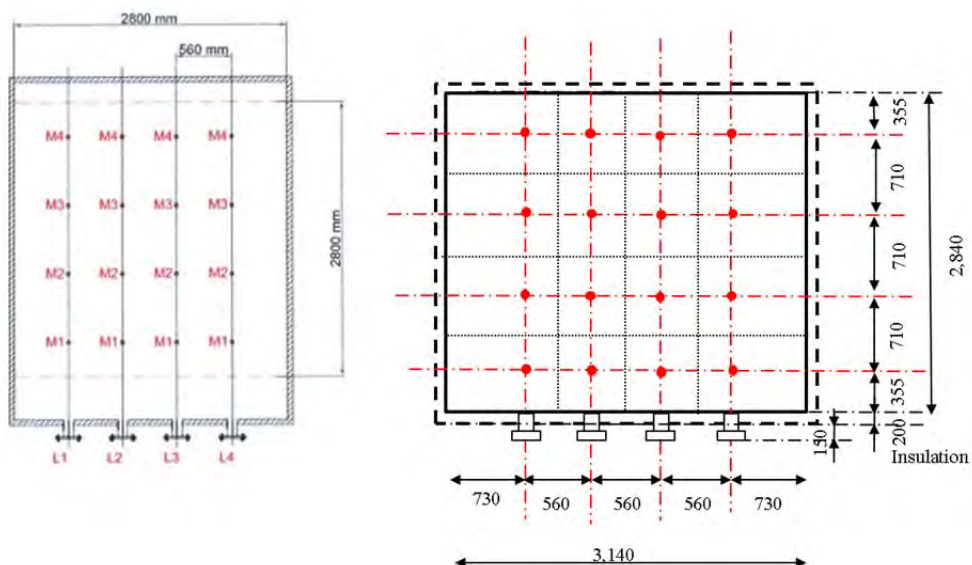
② 出側測定点

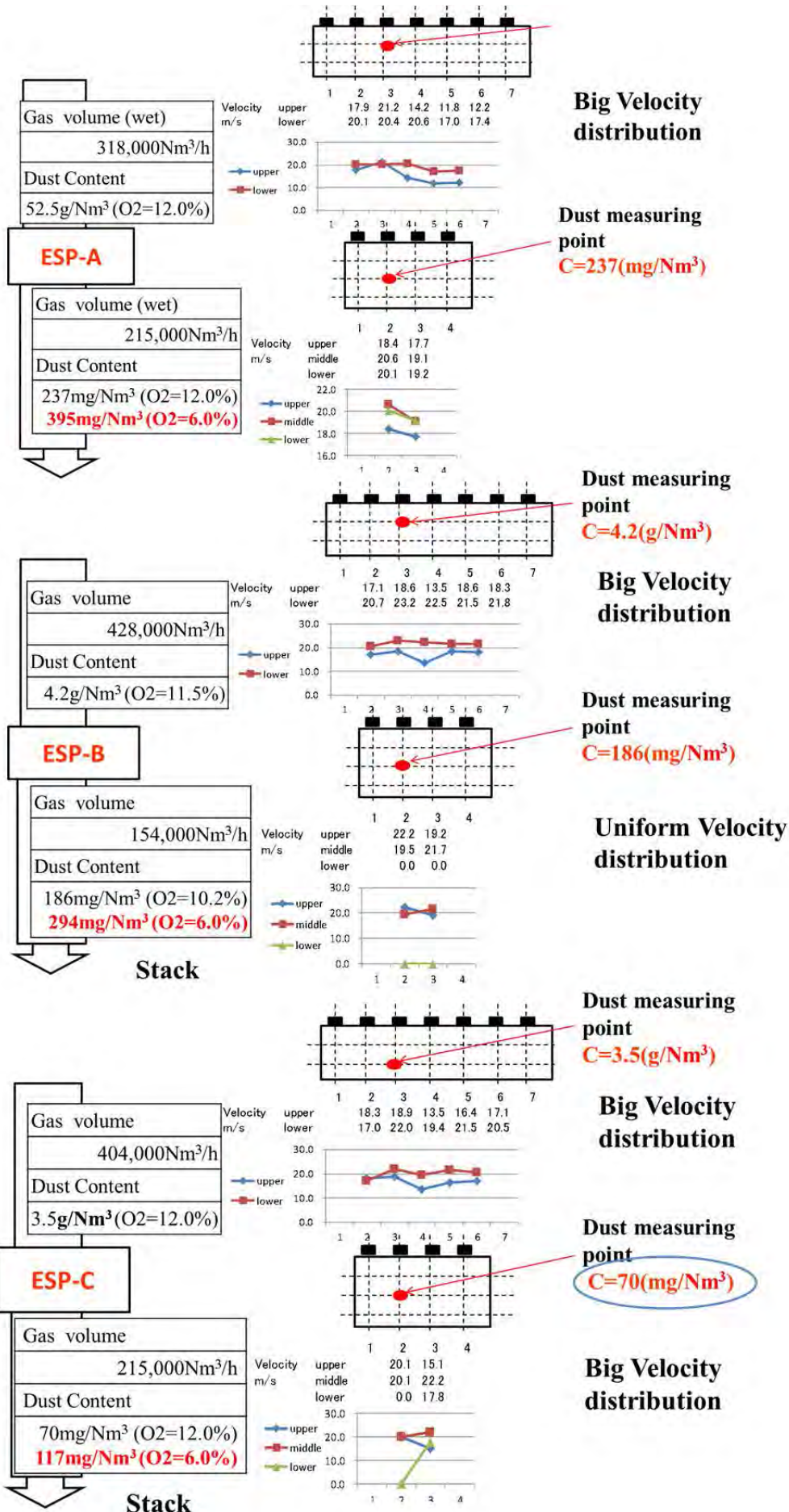
垂直ダクトで測定 (下記は水平断面)、流れは上から下

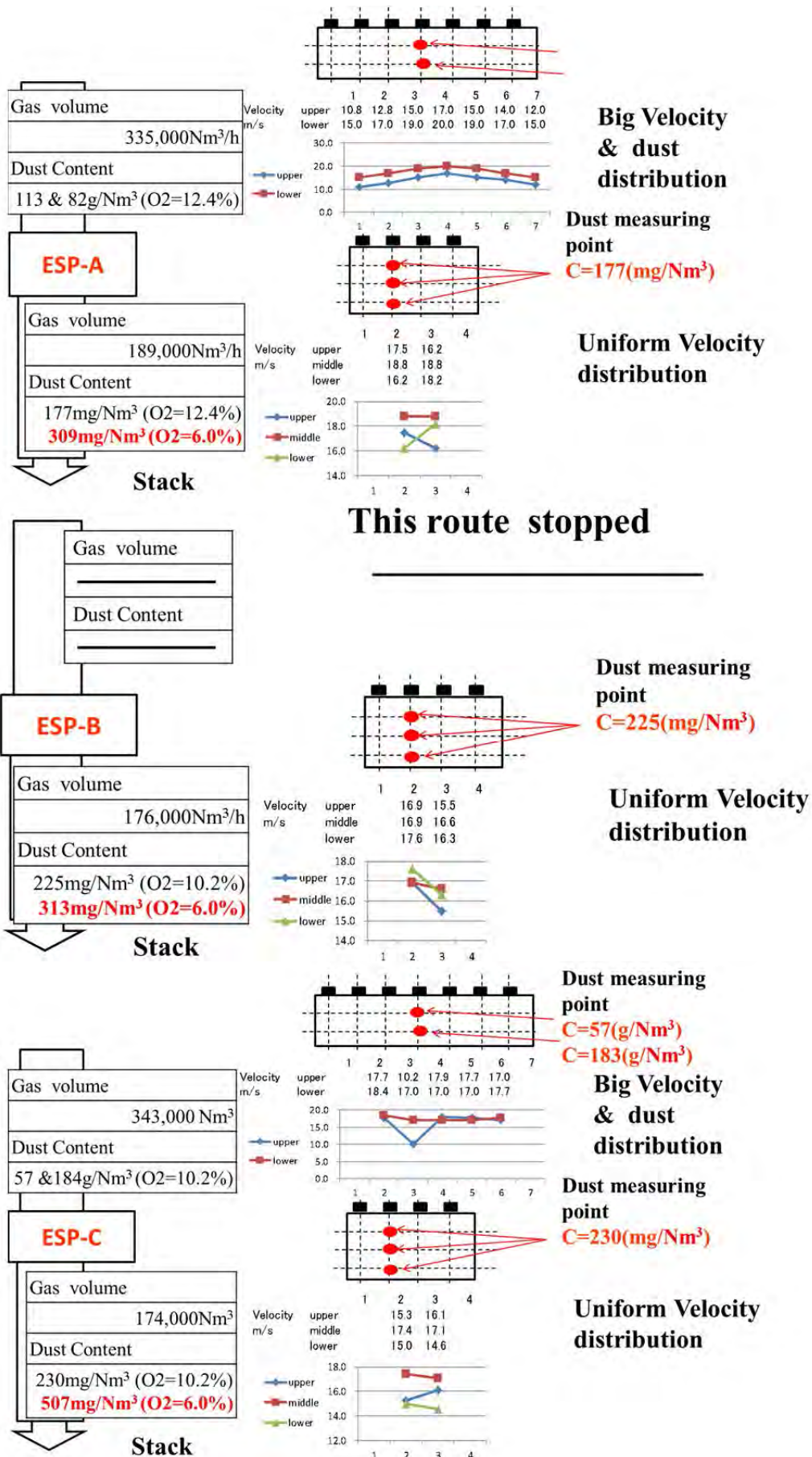
(上から下に向かって絞り形状となっており、下記寸法は測定点のもの)

➤ 第1次派遣

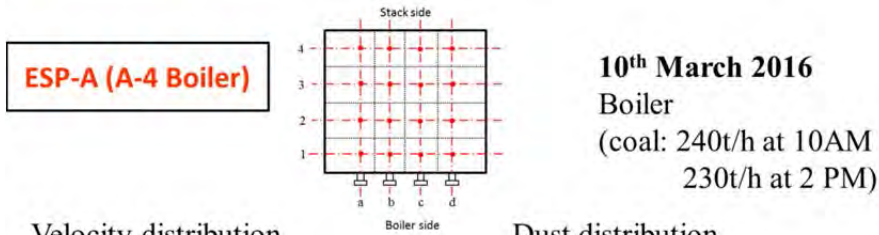
第2次派遣



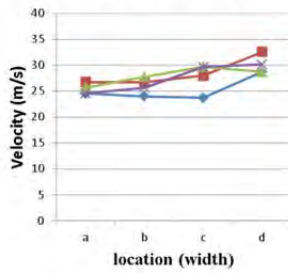




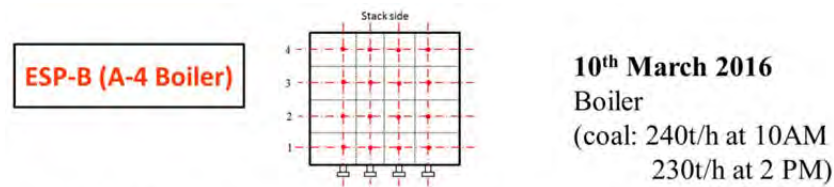
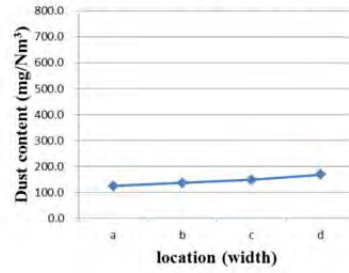
(4) 3月10日(第2次派遣)Kosovo A-4 ボイラ 測定結果(詳細:出側のみ測定) 10th Mar. 2016



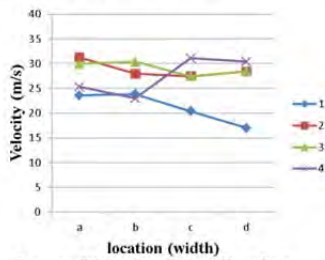
Velocity distribution



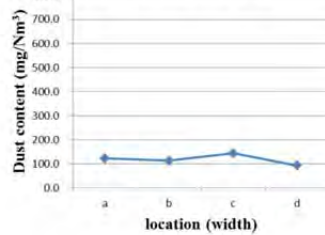
Dust distribution



Velocity distribution

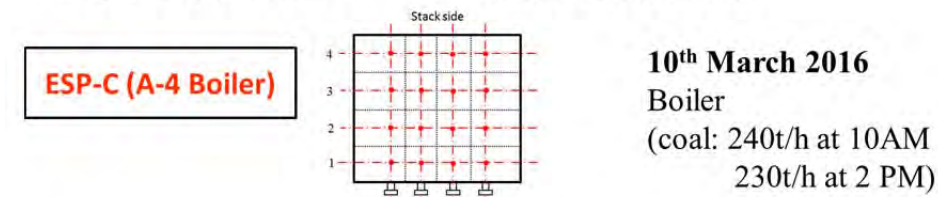


Dust distribution

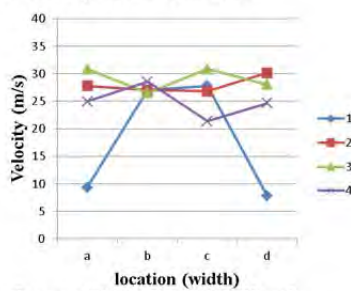


Large Velocity Distribution

Uniform Dust Distribution

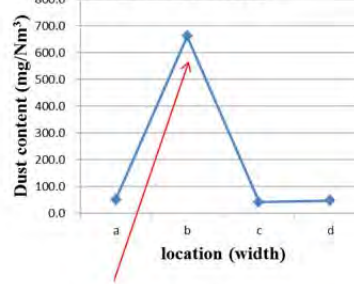


Velocity distribution



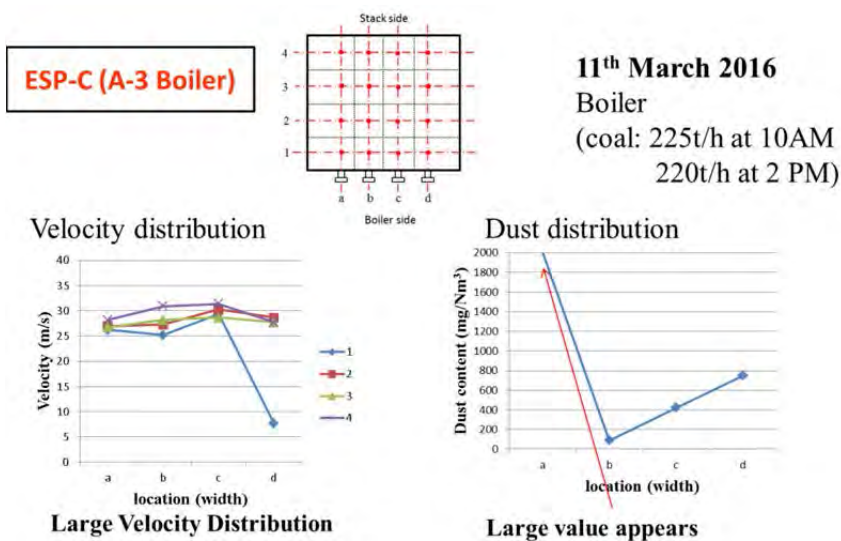
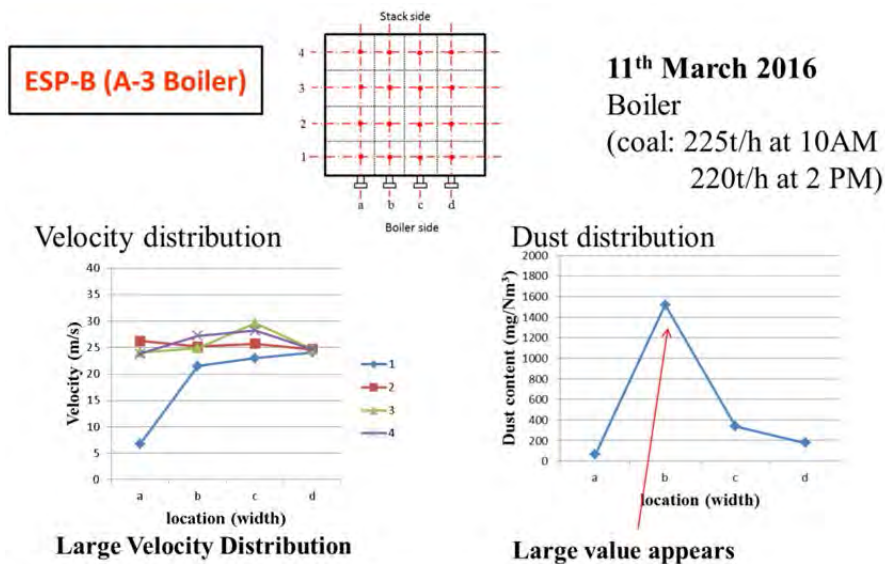
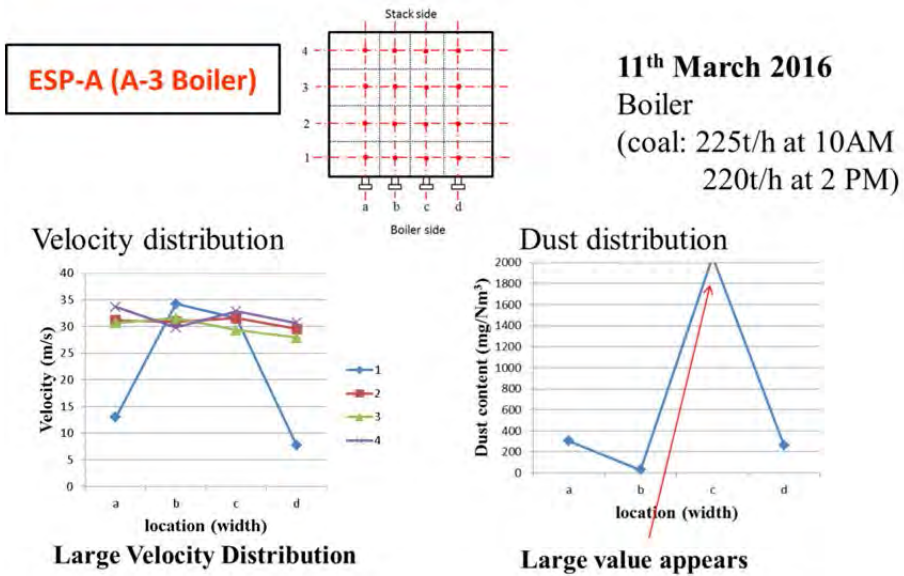
Large Velocity Distribution

Dust distribution



Large value appears

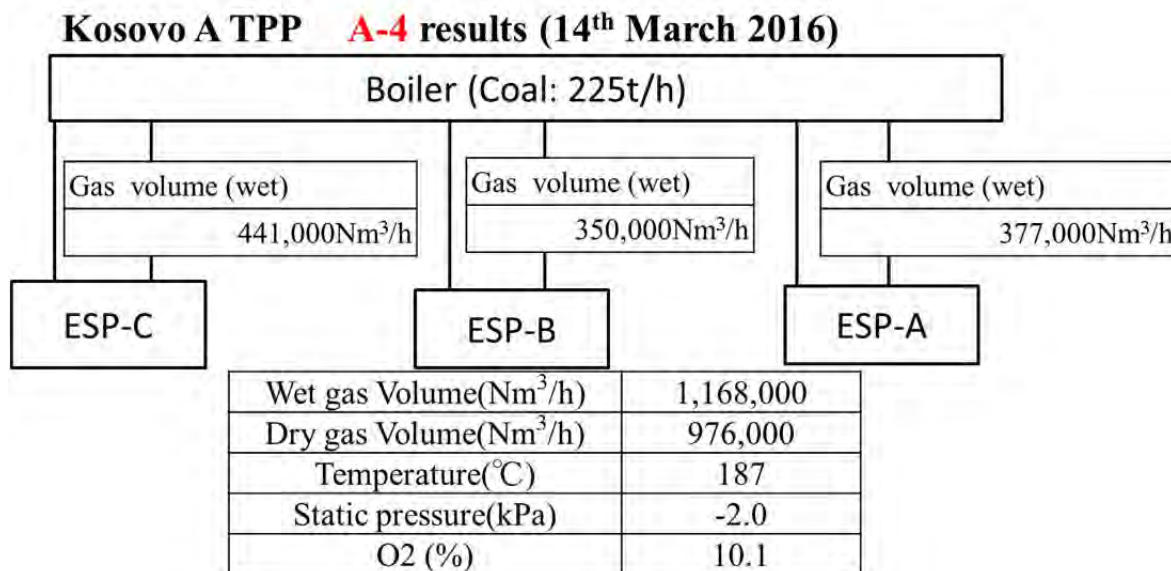
(5) 3月11日(第2次派遣)Kosovo A-3 ボイラ 測定結果(詳細:出側のみ測定) 11th Mar. 2016



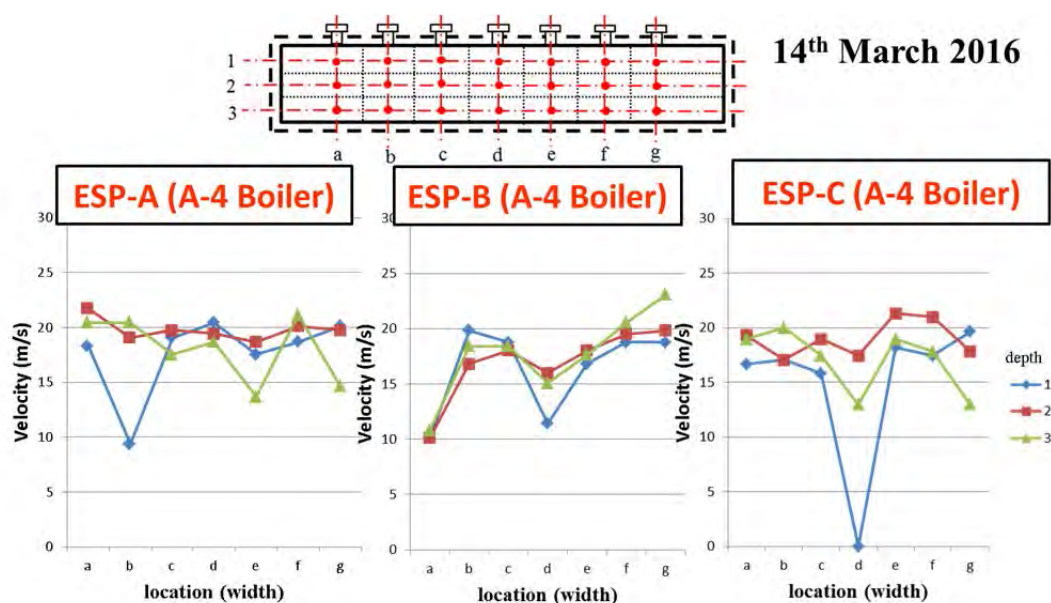
(6) 3月14日(第2次派遣)Kosovo A-4 ボイラ 測定結果(詳細：入側の風量測定)
 A-4 ボイラのみであるが、流速分布および風量の確認のため風量測定を実施した。

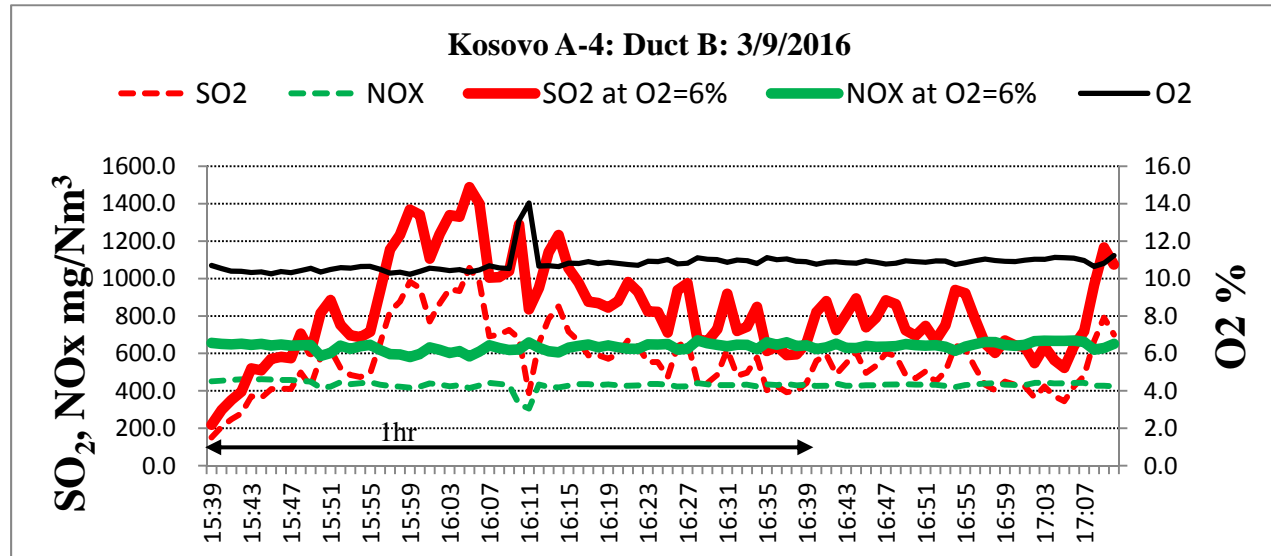
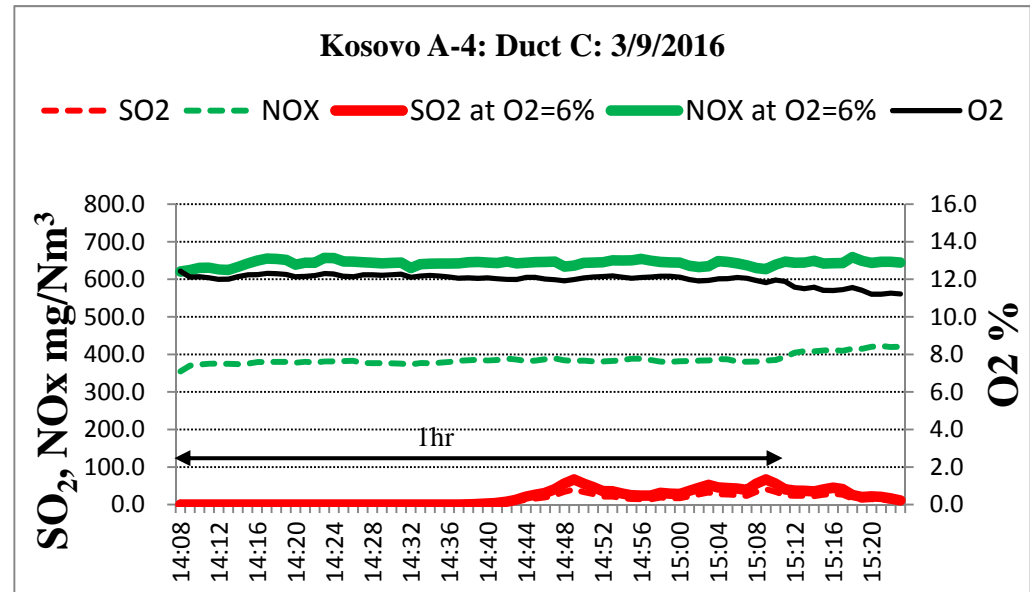
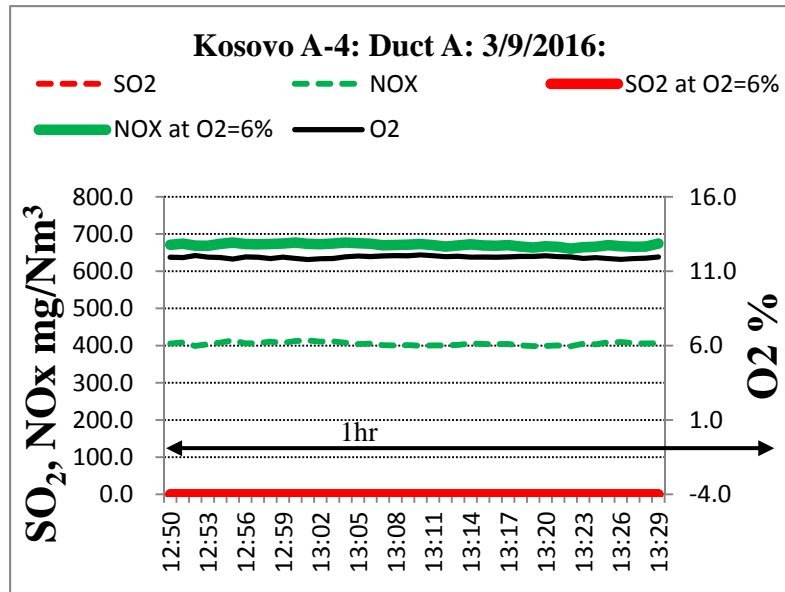
14th Mar. 2016

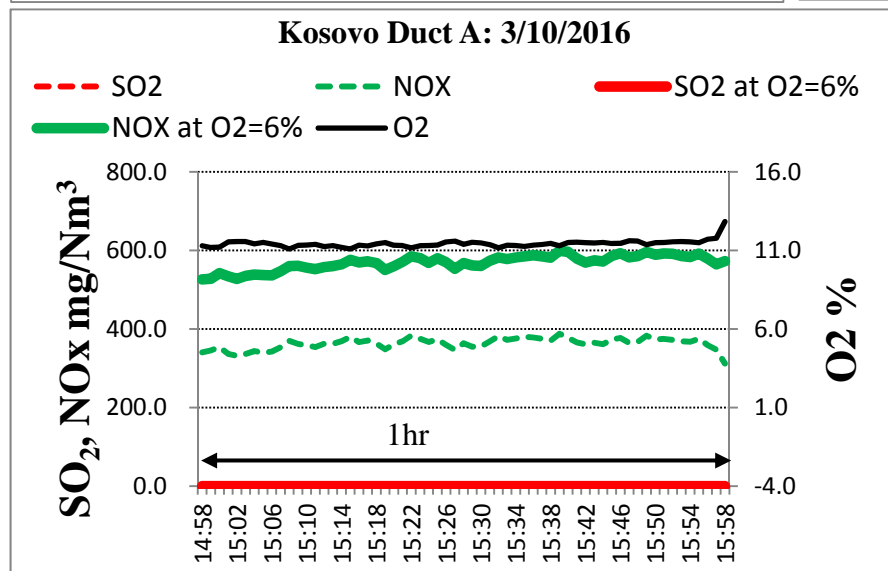
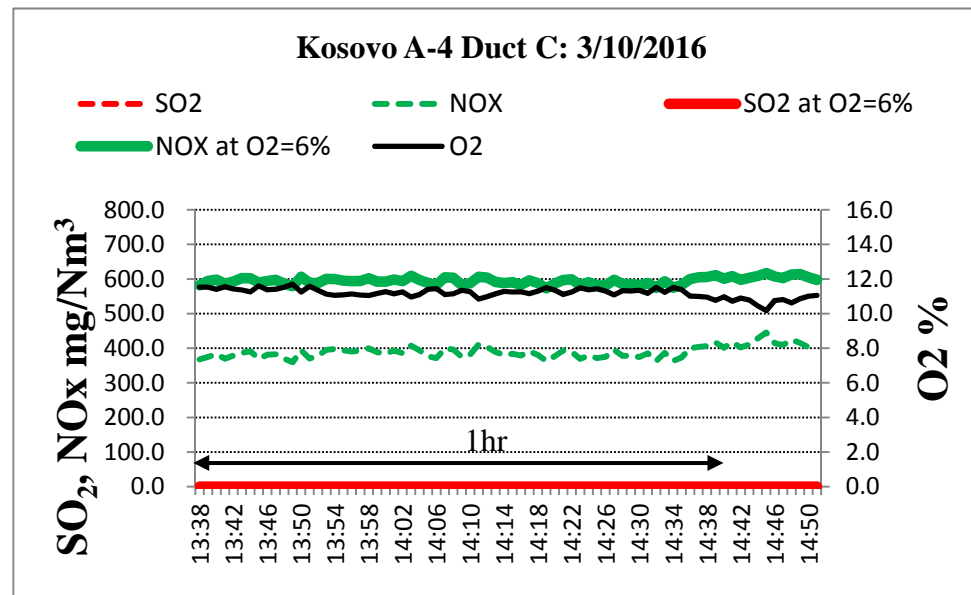
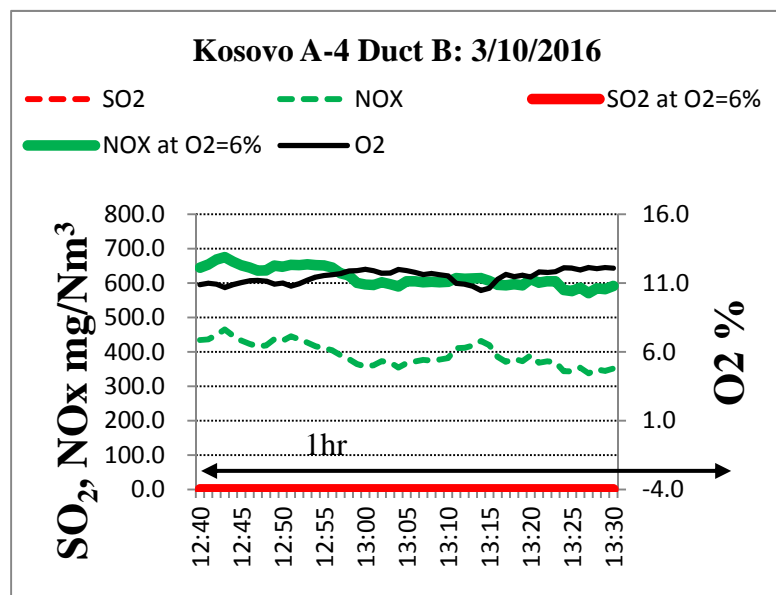
1) 入側風量

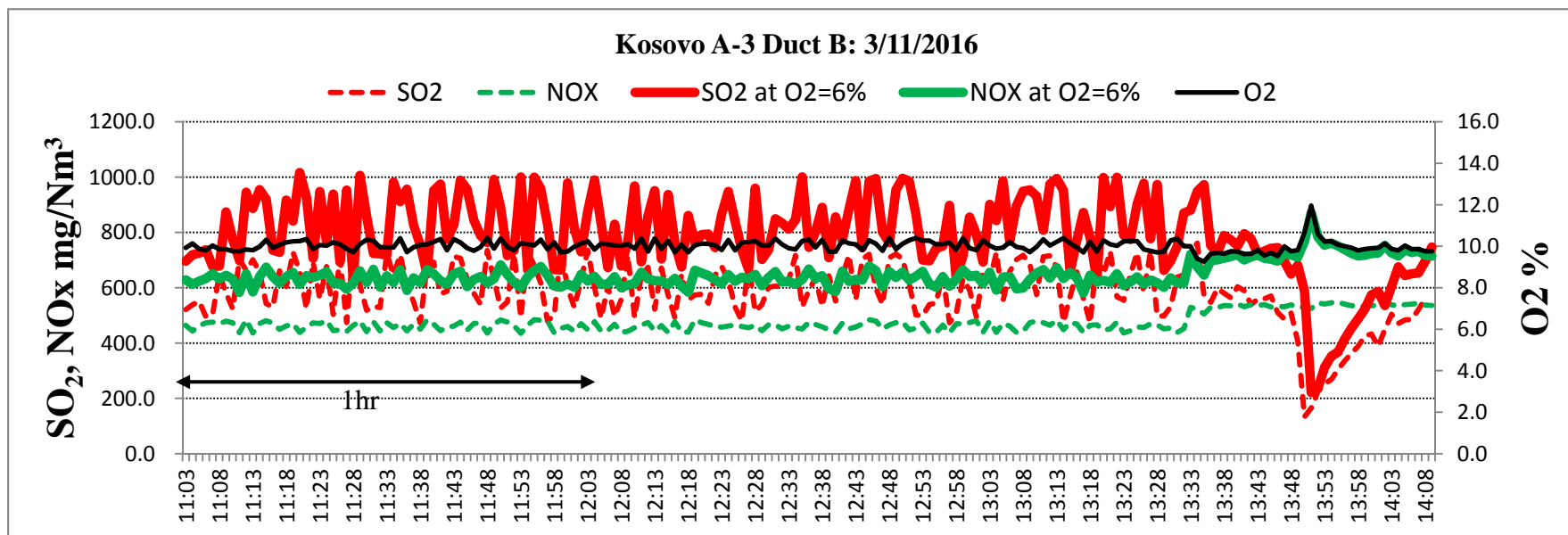
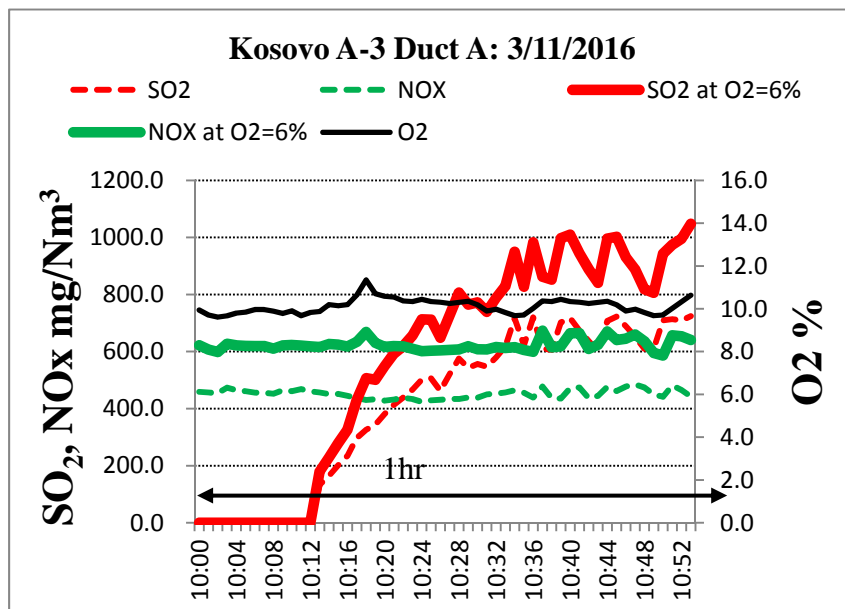


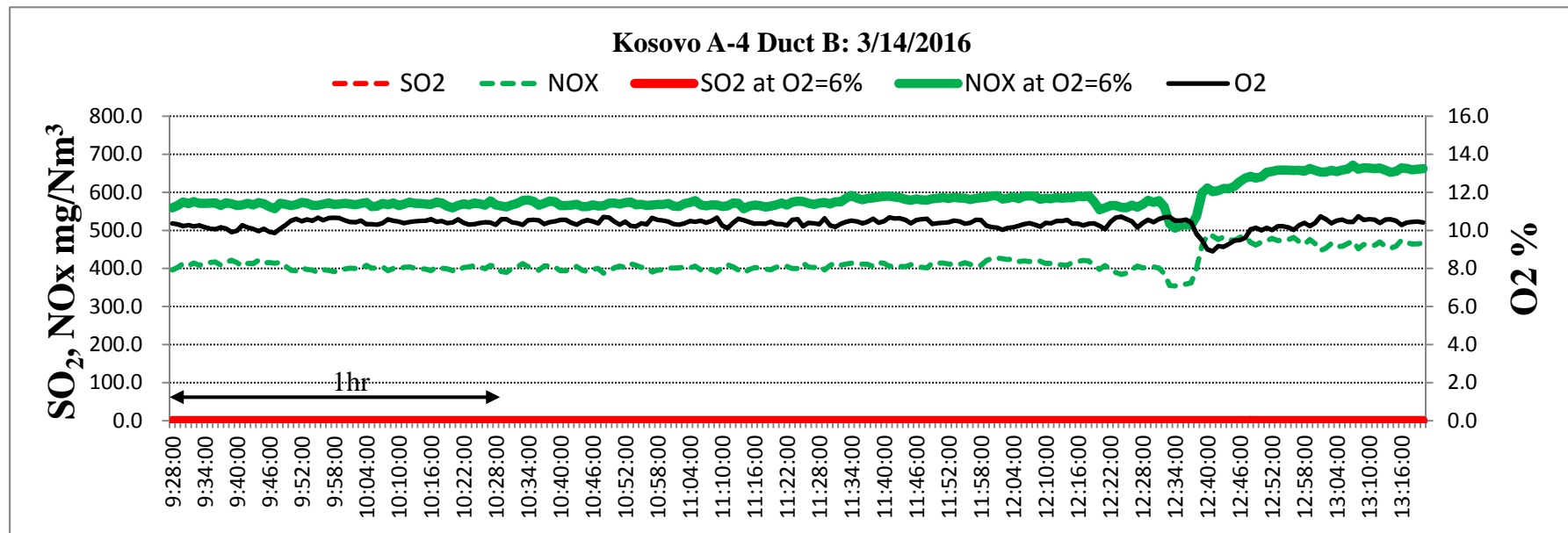
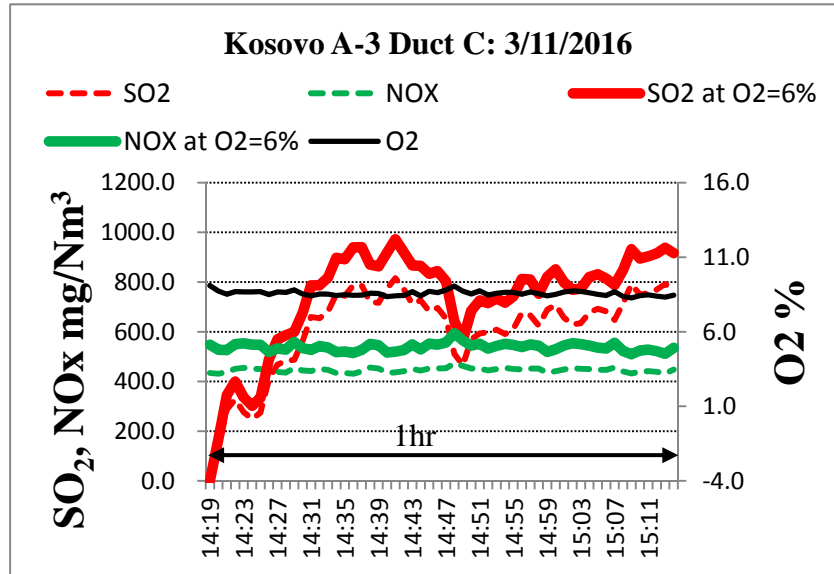
2) 流速分布











2-2 Kosovo B ボイラ測定結果

2-2-1 Kosovo B ボイラ運転データ

(1) 11月3日(第1次派遣)測定時の Kosovo B-1 ボイラ操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo B-1 boiler)

3rd Nov. 2015

	Item	Date Time Unit	3 rd Nov.	3 rd Nov
			11:00	14:30
1	Power generation	MW	282	290
2	Ambient Air Condition (Temp.)	°C	25.2	24.6
3	Main Steam Flow	T/h	844	878
4	Sat. Steam Flow	T/h	588	623
5	Spray Water flow	T/h	240	240
6	Steam Temperature	°C	532	532
7	Steam Pressure	atg.	160	160
8	Feed Water Temperature	°C	243	248
9	Reheat Steam Temperature	°C	533	530
10	Reheat Steam Pressure	atg.	32.5	33.1
11	Coal Consumption	T/h	347	
12	Combustion Air Flow Rate	kNm ³ /h	756	768
13	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-6	-6
14	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	-113	-112
15	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-233	-227
16	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O	-58	-52
17	Hot Gas from Furnace	°C	788/837	751/807
18	Hot gas to Mill Temperature	°C	647	667
19	Air Heater outlet Air Temperature	°C	298/301	310/304
15	Burner Inlet Air Temperature (Mill outlet Temperature)	°C	180	180
16	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	317	327
17	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	150/158	155/167
18	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C	180/172	174/164
20	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	5.5/9.4	4.9/5.6
21	O ₂ Content at Stack inlet	%	13,7	
30	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/Nm ³		
31	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³		

(2) 11月4日(第1次派遣)測定時の Kosovo B-1 ボイラ操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo B-1 boiler)4th Nov. 2015

	Item	Date Time Unit	4 th Nov.	4 th Nov
			10:20	14:15
1	Power generation	MW	281	283
2	FDF inlet Air Temp.	°C	29.6	34.0
3	Main Steam Flow	T/h	858	876
4	Sat. Steam Flow	T/h	573	580
5	Spray Water flow	T/h	239	239
6	Steam Temperature	°C	530	528
7	Steam Pressure	bar	160	160
8	Feed Water Temperature	°C	248	249
9	Reheat Steam Temperature	°C	531	532
10	Reheat Steam Pressure	bar	33	34
11	Coal Consumption	T/h	-	-
12	Combustion Air Flow Rate	kNm ³ /h	697	-
13	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-6	-3
14	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	-113/-105	-110/-107
15	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-231/-220	-227/-217
16	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O	-62	-53
17	Hot Gas from Furnace	°C	786/743	791/700
18	Hot gas to Mill Temperature	°C	661	741
19	Air Heater outlet Air Temperature	°C	299	304
15	Burner Inlet Air Temperature (Mill outlet Temperature)	°C	177	179
16	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	209/320	213/322
17	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	154/160	160/166
18	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C	177/166	183/172
20	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	4.9/10.3	4.0/10.0
21	O ₂ Content at Stack inlet	%	-	-
30	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/Nm ³		
31	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³		

(3) 3月16日(第2次派遣)測定時の Kosovo B-2 ボイラ 操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo B-2 boiler)16th Mar. 2016

	Item	Date Time Unit	16 th Mar.	16 th Mar.
			10:00	14:00
1	Power generation	MW	297	292
2	FDI Inlet Air Temp.	°C	19.4/17.2	20.5/18.4
3	Main Steam Flow	T/h	910	901
4	Sat. Steam Flow	T/h	680	646
5	Spray Water flow	T/h	107	153
6	Steam Temperature	°C	542	531
7	Steam Pressure	bar	156	152
8	Feed Water Temperature	°C	250	248
9	Reheat Steam Temperature	°C	538	538
10	Reheat Steam Pressure	bar	35.7	34.7
11	Coal Consumption	T/h	336	334
12	Combustion Air Flow Rate	kNm ³ /h	796	807
13	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-10	-9
14	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	-114/-91	-114/-92
15	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-311/-308	-309/-287
16	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O	-55/0	-48/0
17	Hot Gas from Furnace	°C	688/708	720/752
18	Hot gas to Mill Temperature	°C	460	473
19	Air Heater outlet Air Temperature	°C	280	279
20	Burner Inlet Air Temperature (Mill outlet Temperature)	°C	182/196/180 174/180	165/184/173 179/178
21	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	318/319	314/314
22	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	151/150	146/149
23	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C	173/148	169/147
24	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	19.9 /4.7	19.9 /5.3
25	O ₂ Content at Stack inlet	%		
26	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/Nm ³		
27	Dust Content (at Stack inlet)	mg/Nm ³		
28	SOX Content (at Stack inlet)	ppm		
29	NOX Content (at Stack inlet)	ppm		
30	CO Content (at Stack inlet)	ppm		

(4) 3月17日(第2次派遣)測定時の Kosovo B-2 ボイラ 操業運転データ

Boiler Operation Data (Kosovo B-2 boiler)17th Mar. 2016

	Item	Date Time Unit	17 th Mar	17 th Mar
			10:00	12:40
1	Power generation	MW	297	295
2	FDF Inlet Air Temp.	°C	21.6/18.8	22.0
3	Main Steam Flow	T/h	906	897
4	Sat. Steam Flow	T/h	630	646
5	Spray Water flow	T/h	196	
6	Steam Temperature	°C	538	527
7	Steam Pressure	bar	156	157
8	Feed Water Temperature	°C	250	250
9	Reheat Steam Temperature	°C	538	538
10	Reheat Steam Pressure	bar	36.4	
11	Coal Consumption	T/h	370	365
12	Combustion Air Flow Rate	kNm ³ /h	788	820
13	Furnace Pressure	mmH ₂ O	-7	-9
14	Economizer Outlet Pressure	mmH ₂ O	-107/-85	-115
15	Precipitator Inlet Pressure	mmH ₂ O	-302/-279	-
16	Stack Inlet Pressure	mmH ₂ O	-56/0	-55
17	Hot Gas from Furnace	°C	788/735	
18	Hot gas to Mill Temperature	°C	441	473
19	Air Heater outlet Air Temperature	°C	289	279
20	Burner Inlet Air Temperature (Mill outlet Temperature)	°C	185/179/183 182/173/180	165/184/173 179/178
21	Economizer Outlet Gas Temperature	°C	325/325	316
22	Precipitator Inlet Gas Temperature	°C	155/156	
23	Precipitator Outlet Gas Temperature	°C	178/152	174
24	O ₂ Content at Economizer Outlet	%	49.9/4.5	5.3
25	O ₂ Content at Stack inlet	%		
26	Dust Content (at Precipitator inlet)	mg/Nm ³	NA	
27	Dust Content (at Stack inlet) O ₂ =6%	mg/Nm ³	713	
28	SOX Content (at Stack inlet) O ₂ =6%	ppm	450~750	
29	NOX Content (at Stack inlet) O ₂ =6%	ppm	690~720	

2-2-2 Kosovo B-1 ボイラ測定結果(データ)まとめ

(1) 11月3日、4日(第1次派遣) Kosovo B-1 ボイラ測定結果(データ)まとめ

Measurement Results of Exhaust gas at Kosovo B-1 TPP

3rd and 4th Nov. 2015

Measurement point		3 rd Nov.		4 th Nov.	
		B-1 Inlet-1	B-1 outlet-2	B-1 Inlet-2	B-1 outlet-2
Wet Exhaust gas volume	Nm ³ /h	627,000	695,000	366,000	352,000
Dry Exhaust gas volume	Nm ³ /h	575,000	637,000	307,000	295,000
Gas velocity	m/s	6.8	14.7	4.1	7.5
Exhaust gas temperature	°C	171	173	187	177
Water content	%	8.3	8.3	16.2	16.2
Static pressure	kPa	-2.3	-2.9	-2.9	-2.4
Composition (%)	CO ₂ (%)	12.4	12.4	12.0	12.0
	O ₂ (%)	8.2	8.2	8.0	8.0
	CO (ppm)	38	38	46	46
	N ₂ (%)	79.4	79.4	80.0	80.0
Dust Content	g/Nm ³	39.258	0.366	32.256	0.135
Dust Content at O ₂ = 6%)	g/Nm ³	46.005	0.429	37.218	0.155
Detection tube (NO _x)	ppm	500		500	
NO _x (NO ₂)at O ₂ = 6%	mg/Nm ³	1,203 (586ppm)		1,185 (577ppm)	
Detection tube (SO ₂)	ppm	100		0	
SO ₂ at O ₂ = 6%	mg/Nm ³	293 (117ppm)		0(0ppm)	

(2) 3月16日、17日(第2次派遣) Kosovo B-2 ボイラ測定結果(データ)まとめ

Measurement Results of Exhasut gas at Kosovo B-2 TPP

16th and 17th Mar. 2016

Measurement Date		17 th Mar.	16 th Mar.
Measurement point		B-2-2 outlet duct	B-2-2 outlet duct
Wet Exhasut gas volume	Nm ³ /h	1,100,000	1,150,000
Dry Exhasut gas volume	Nm ³ /h	836,000	1,060,000
Gas velocity	m/s	21.0	21.1
Exhasut gas temperature	°C	180	161
Water content	%	24.1	7.7
Static pressure	kPa	-3.3	-3.5
Composition (%)	CO ₂ (%)	13.2	12.0
	O ₂ (%)	7.1	8.4
	CO (ppm)	57	54
	N (%)	79.7	79.6
Dust Content	g/Nm ³	2.578	0.660
Dust Content (O ₂ at 6%)	g/Nm ³	3.021	0.908
TEMP (Ave)	°C	181	163
O ₂ (PG-350)(Ave)	%	8.2	10.1
CO ₂ (PG-350)(Ave)	%	12.7	10.5
CO(PG-350)(Ave)	ppm	47	41
Nox (PG-350)(Ave)	ppm	296	259
	mg/Nm ³	607	531
Nox (O ₂ at 6%)	ppm	347	356
	mg/Nm ³	711	731
SO ₂ (PG-350)(Ave)	ppm	188	134
	mg/Nm ³	538	383
SO ₂ (O ₂ at 6%)	ppm	220	184
	mg/Nm ³	630	527

Power voltage	—	230V	230V
Length of the power cable	—	25m Cable reel	25m Cable reel
Lengthh of the sampling hose	m	30m	30m
The place of the instruments	—	right below	right below
Lengthh of the sampling pipe	m	1.0m	1.0m
Lengthh of the Pitot tube	m	4.0m	4.0m
Reference	—	Dusty environment	Dusty environment

2-2-3 Kosovo B-1 ボイラ 測定結果(詳細)

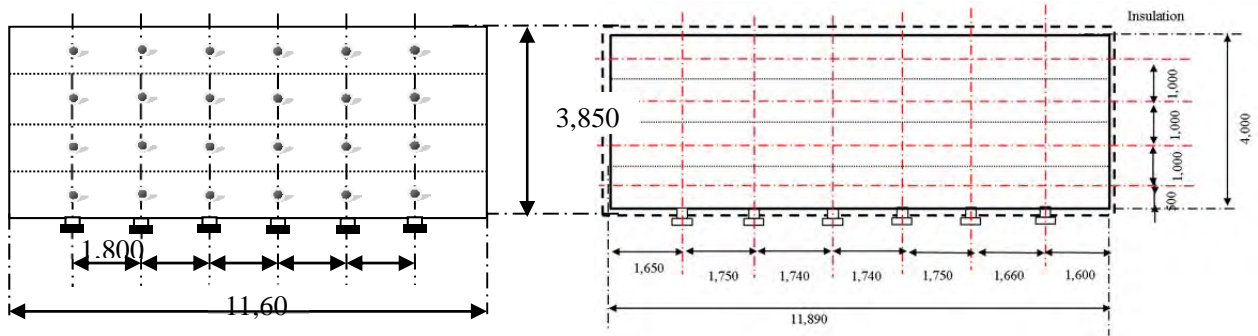
(1) Kosovo B-1 ボイラ測定点

① 入側測定点

垂直ダクト（斜め 20 度程度）で測定（下記は垂直断面）流れは下から上

➤ 第 1 次派遣

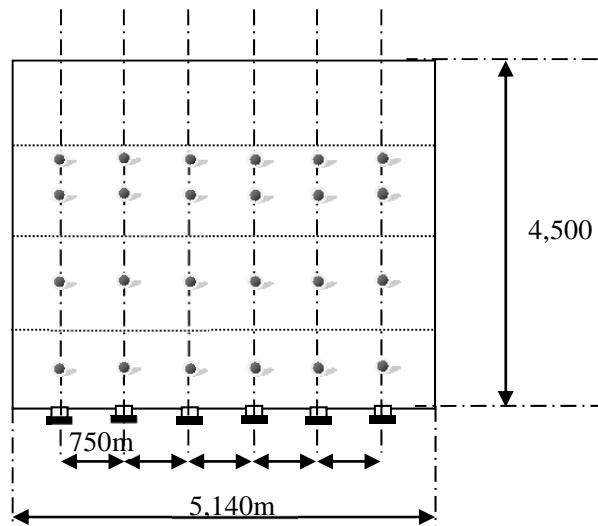
第 2 次派遣



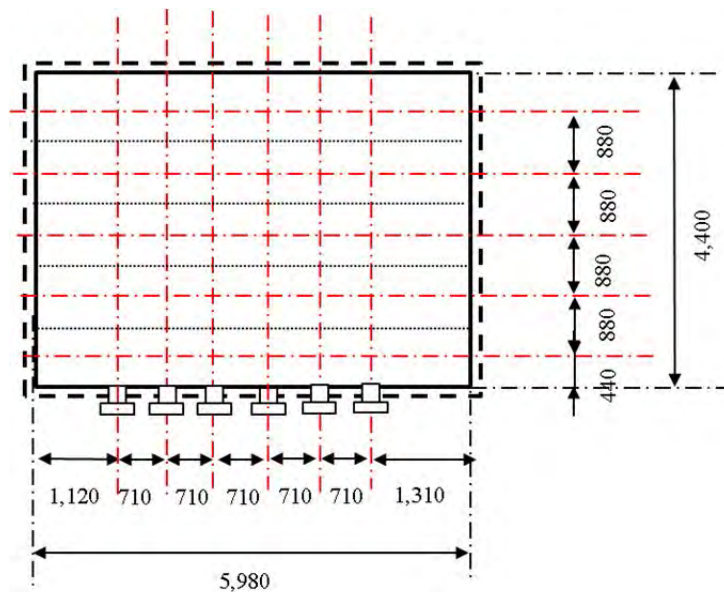
② 出側測定点

垂直ダクトで測定（下記は水平断面）、流れは上から下
 (一番奥の測定点は Pitot 管の長さの制約から測定できず)

➤ 第 1 次派遣



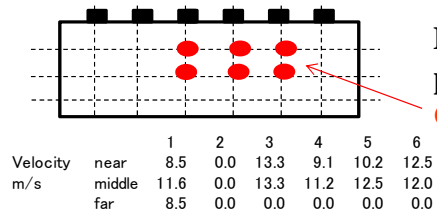
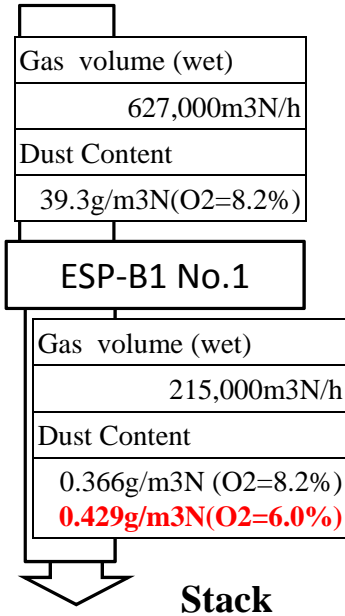
➤ 第 2 次派遣



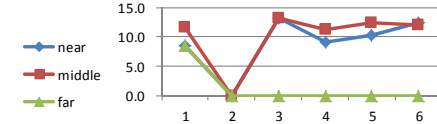
(2) 11/3,4(第1次派遣)の Kosovo B1 ボイラ 測定結果(詳細)

3rd and 4th Nov. 2015

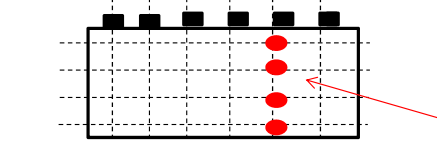
No.1ESP



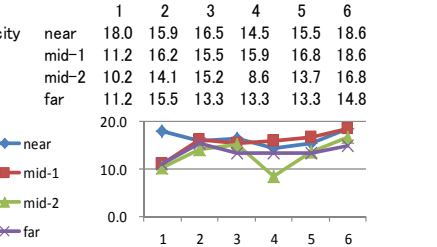
Dust measuring point
Cave=39.3(g/m3N)



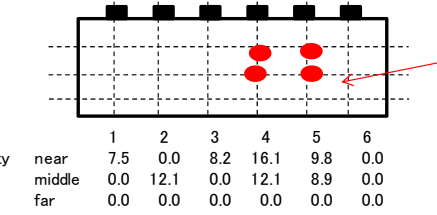
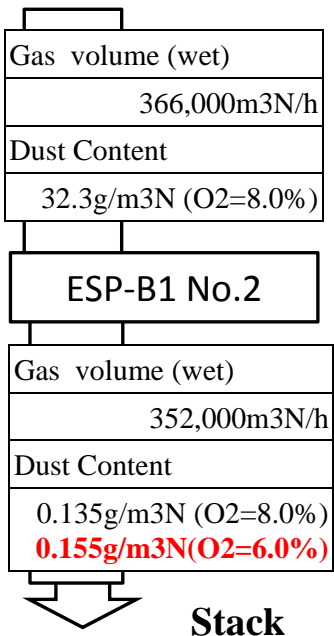
Big Velocity distribution
Almost no flow at far side



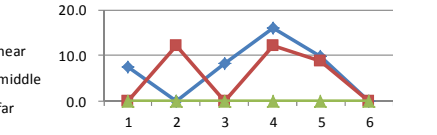
Dust measuring point
Cave=0.366(g/m3N)
Some velocity distribution
Pretty uniform flow



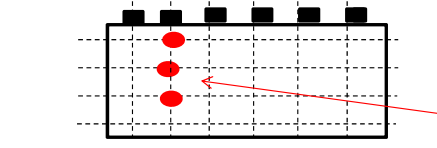
No.2ESP



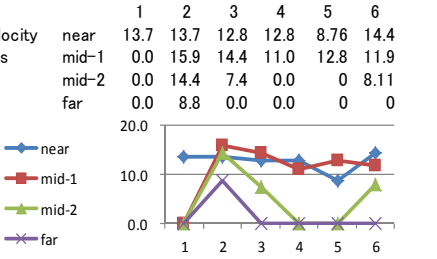
Dust measuring point
Cave=32.3(g/m3N)



Big Velocity distribution
Almost no flow at far side



Dust measuring point
Cave=0.135(g/m3N)

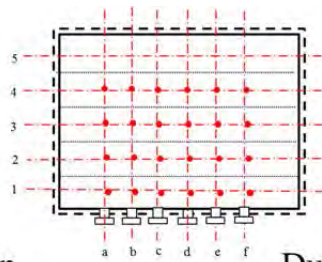


Big Velocity distribution
Very low flow at far side

(3) 3/16,17日(第2次派遣)の Kosovo B2 ボイラ 測定結果(詳細: 出側測定)

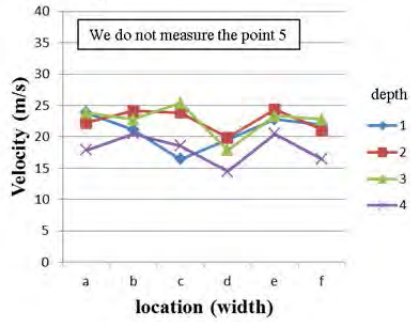
16th and 17th Mar. 2016

B-2 No.2 ESP

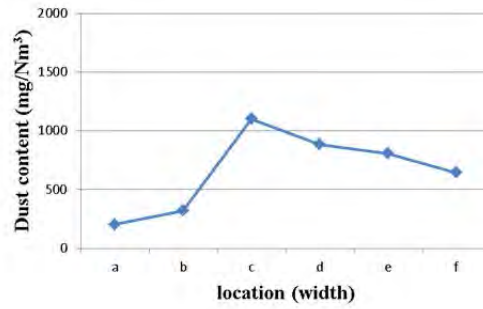


16th March 2016
Boiler (coal: 335t/h)

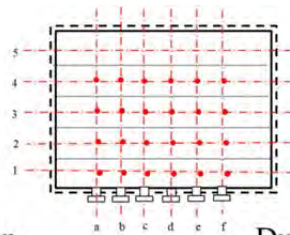
Velocity distribution



Dust distribution

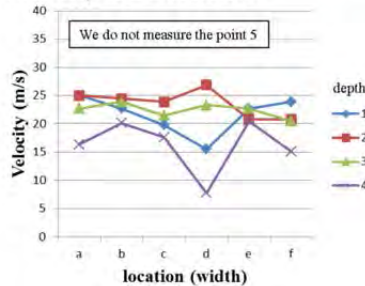


B-2 No.1 ESP



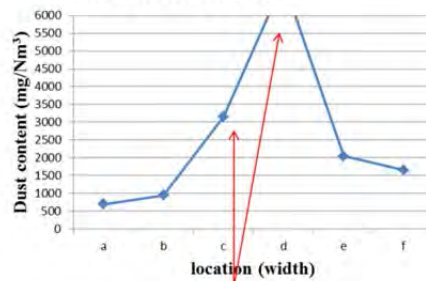
17th March 2016
Boiler (coal: 370t/h)

Velocity distribution



Large Velocity Distribution

Dust distribution



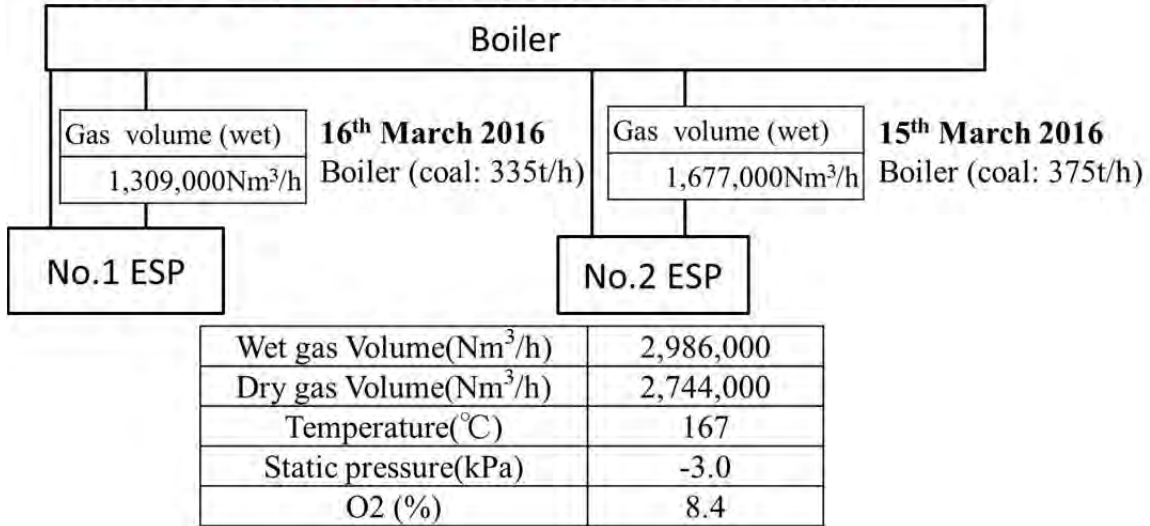
Large value appears

(4) 3/16,17日(第2次派遣)の Kosovo B2 ボイラ 測定結果(詳細 : 入側風量測定)
 入側に関しては風量測定のみ実施している。

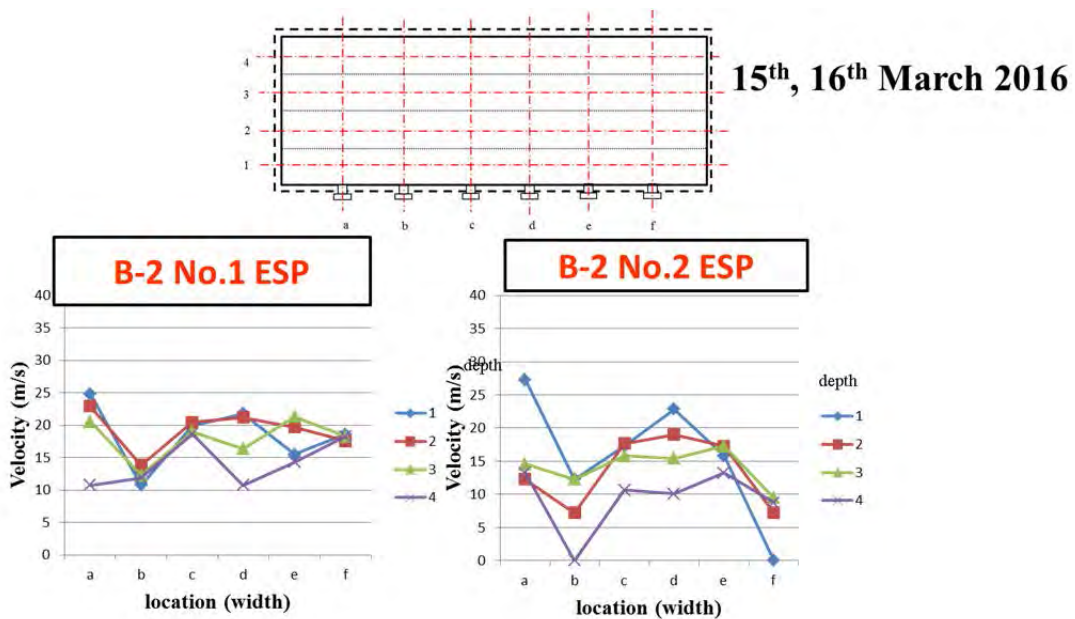
1) 風量測定

16th and 17th Mar. 2016

Kosovo B TPP B-2 results (15th, 16th March 2016)

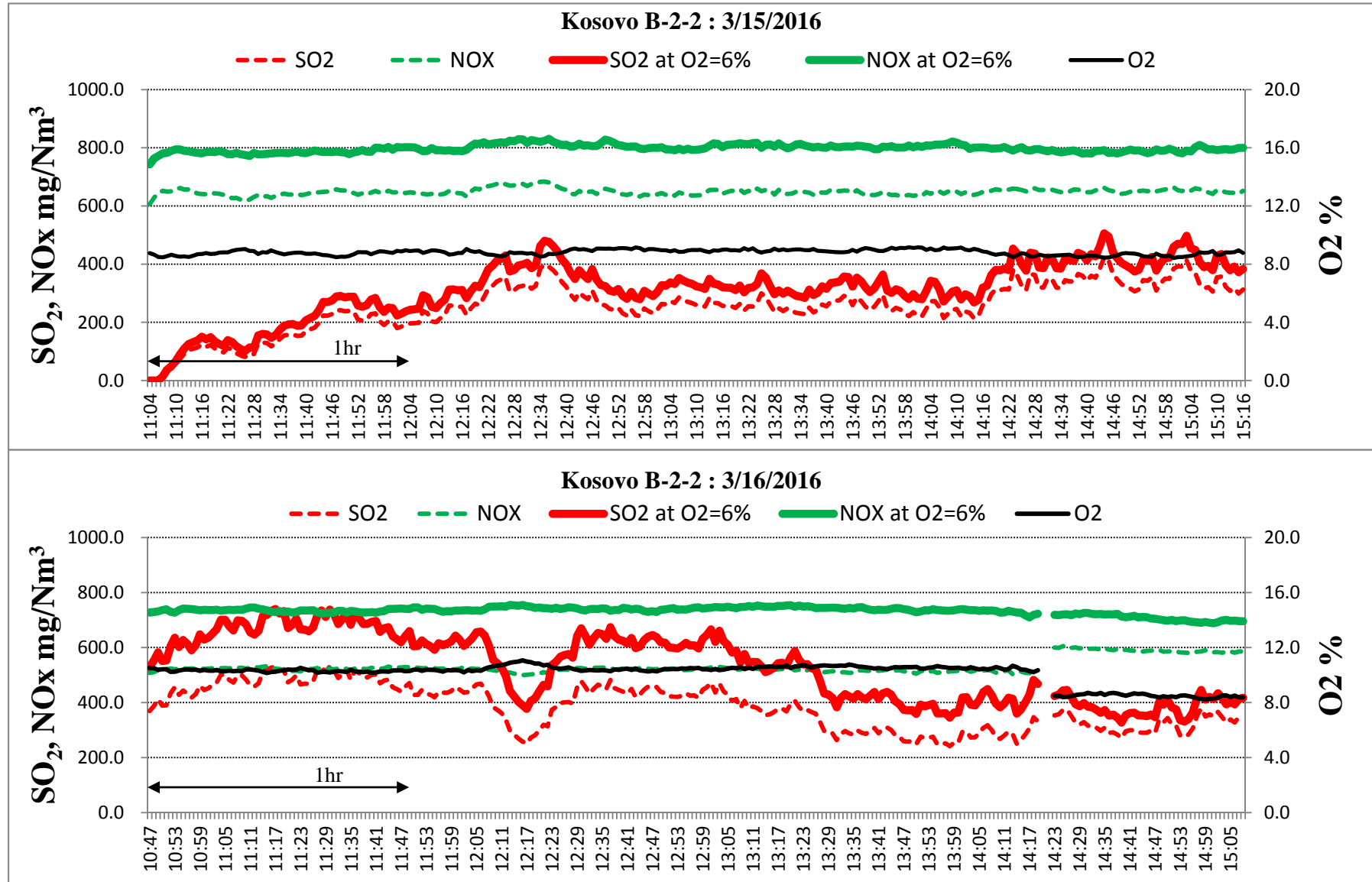


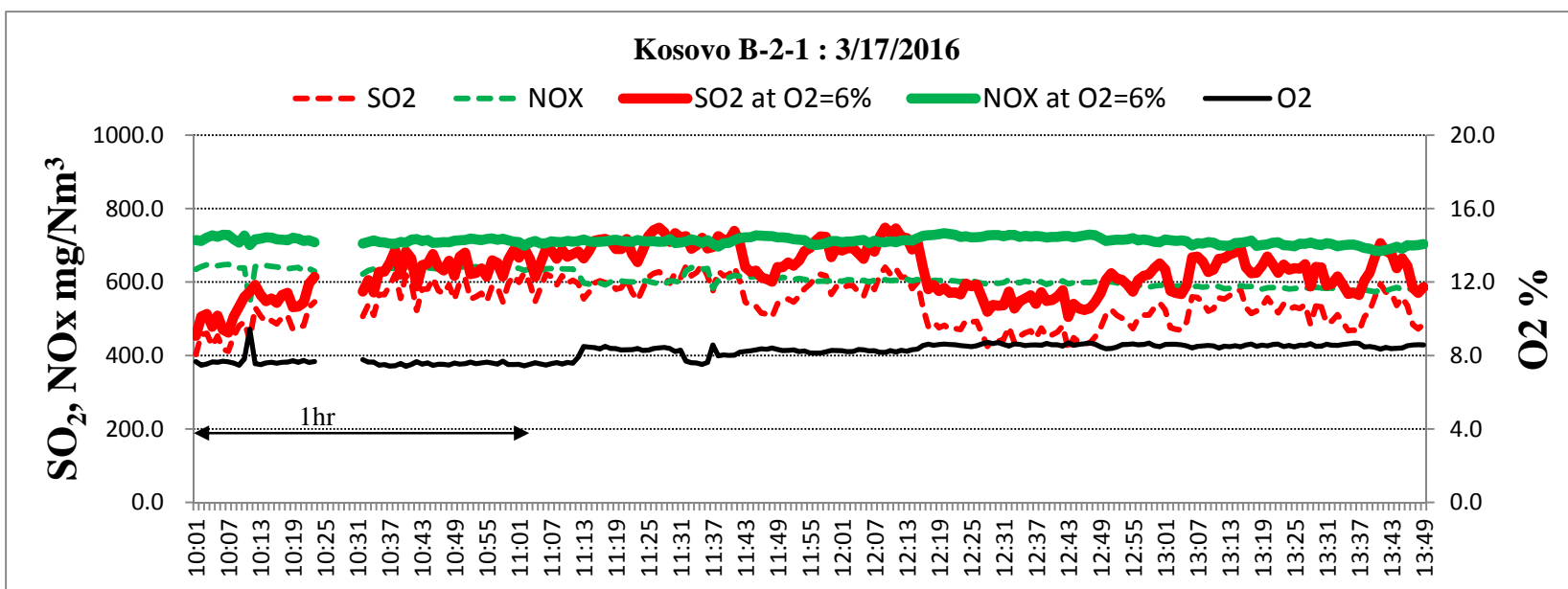
2) 流速分布



(5) 第2次派遣時の Kosovo A ボイラ SO₂、NO_x の測定結果(出側での測定)

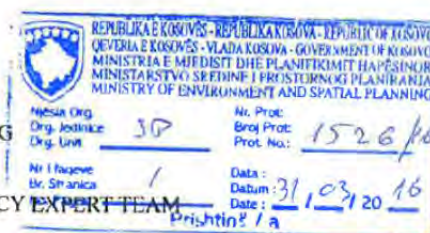
15th and 16th Mar. 2016





付属資料－3 MOU

MINUTES OF UNDERSTANDING
 BETWEEN
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
 AND
 MINISTRY OF ENVIRONMENT AND SPATIAL PLANNING
 OF REPUBLIC OF KOSOVO
 FOR
 “EXPERT FOR AIR POLLUTION CONTROL JFY 2015”



With respect to the signing of MOU in 2015 between Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred as “JICA”), and the Ministry of Environmental and Spatial Planning (hereinafter referred as “MESP”), the JICA Expert Team (hereinafter referred as “JET”) visited the Republic of Kosovo (hereinafter referred as “Kosovo”) from Oct. 19th 2015 to Nov. 11th 2015 and Mar. 7th 2016 to Mar. 31st 2016..

During its stay in Kosovo, Experts carried out activities about on-site stack gas measurement for existing Thermal Power Plant (hereinafter referred as “TPP”), enlightenment to achieve ELVs in the Thermal Power Plant and strengthening of the knowledge of related organizations, strengthening of the ability of MESP to grasp existing conditions in LCP toward developing NERP, and workshops.

JICA Head Office mission (Mr. Taizo Yamada) joined the workshop discussion on March 29th.

Thorough these activities, Experts and MESP confirmed the items described in the attached sheet.

Pristina, March 30th 2016

Mr. Masuto SHIMIZU
 Leader of the JICA ExpertTeam
 JFE Techno-Research Corporation

Mr. Arben ÇITAKU
 General Secretary,
 Ministry of Environment and Spatial Planning

Witnessed by
 Mr. Taizo Yamada
 JICA Head Office Mission
 Senior Adviser (Environmental Management)
 Japan International Cooperation Agency (JICA)

Mr. Muhamet MALSIU
 Director,
 Environmental Protection Department,
 Ministry of Environment and Spatial Planning

ATTACHMENT

JET appreciated very much the Kosovo Side's enthusiasm for JET to execute all scheduled activities planned in both 1st and 2nd mission, and JET extremely appreciated the assistance to their activities.

The results and issues based on this mission activities and the future direction are discussed as follows.

1. Results and issues derived from this mission
 - a. MESP and related authorities and organizations (hereinafter referred as "Kosovo Side"), and JET confirmed that Dust concentrations in exhaust gas from the boilers of both Kosovo A TPP and Kosovo B TPP by far exceed the Emission Limit Values (hereinafter referred as "ELVs") defined in Directive 2010/75/EC of the European Parliament and of the council (hereinafter referred as "EC Directive").
 - Both Kosovo Side and JET confirmed that these dust concentration values also by far exceed the specification of Electrostatic Precipitator (hereinafter referred as "ESP").
 - In addition, JET let MESP understand that the dust meter installed in the boilers does not show a reliable value (calibration has not been accomplished).
 - b. JET conducted the measurement of SO₂ and NO_x by using the automated gas analyzer for both Kosovo A TPP and Kosovo B TPP. Both Kosovo Side and JET confirmed the following:
 - NO_x showed a stable value of 700 ~ 800 mg/Nm³ (reference O₂=6%).
 - SO₂ showed a fluctuation from 0 to 1,000 mg/Nm³ (reference O₂=6%).
 - c. Both Kosovo Side and JET confirmed that the Continuous Emission Monitoring System (hereinafter referred as "CEMS") installed in Kosovo B TPP has a problem with the location problem for maintenance as well as calibration.
 - CEMS is installed at the position of 90m of the stack where the access is very hard for the maintenance man.
 - Calibration of CEMS must be conducted at the position close to CEMS according to EC Directive. In particular, the dust meter must be calibrated by the isokinetic dust measurement method. It is hard and dangerous to handle instruments in this location.

Furthermore, the point where JET conducted measurement in this mission in Kosovo A TPP and Kosovo B TPP were not appropriate, because the measurement results were not uniform, as this was not a representative measurement point.

Because of the above-mentioned situation, both Kosovo Side and JET agreed to install new measurement points for both Kosovo A TPP and Kosovo B TPP which are envisaged to be a representative point.
 - d. Both Kosovo Side and JET agreed that the technology transfer of on-site stack gas measurement was not sufficient. The acquisition of emission data was set as a priority in the mission, upon the request from MESP for NERP elaboration. Kosovo Side requested more training about technology transfer of on-site stack gas measurement.
 - e. MESP (Kosovo Environmental Protection Agency/Kosovo Hydro-meteorological Institute) expects

M. AG.
U.S.

to use Ion Chromatograph method as a reference method of on-site stack gas measurement for SO_x and NO_x. However, Ion Chromatograph requires adjustment and operational instructions. Furthermore EC directive demands measurement of mercury in the exhaust gas which requires sampling and analysis technology.

2. Future direction based on these results and issues

The underlined parts in the following articles are strongly requested by the Kosovo Side to be addressed urgently, in order to sustain the Kosovo Side's efforts initiated by the JET activities.

- a. Kosovo Side and JET agree that present measurement points are not appropriate, and there is a need to install other measurement points for future on-site stack gas measurement. These measurement points must be confirmed as representative by conducting on-site stack gas measurement.

It is important to specify the representative measurement points, not only for monitoring and reporting of emission data to Energy Community, but also for studying in order to find out the mechanism related to the fluctuation of dust and SO₂ concentration in exhaust gas. The most appropriate dust and SO₂ reduction measures can be designed based on such a study.

It is strongly recommended to find a representative measurement point and prepare for its measurement arrangement before starting next step to study behavior of dust and SO₂.

- b. CEMS is required to be installed at an appropriate position in order to monitor and report emissions to Energy Community. Kosovo B TPP has a CEMS which monitors dust, SO₂ and NO_x, but the location of measurement point is problematic for operation and maintenance of the equipment. It is necessary to secure an appropriate place for operation (measurement)

- c. Present ESP does not show the projected capacity, as it is affected by many factors (exhaust gas temperature, exhaust gas volume, heterogeneity of gas flow, etc.). In order to confirm the present condition of ESP, it is required to analyze lignite and fly ash and to study boiler operation at the same time, which will lead to the study of the cause of low dust collection efficiency. This study contributes to the evaluation of proper and effective measures to achieve ELVs, and furthermore it will become the base data for deciding on specification of ESP reinforcement.

- d. Reduction of SO₂, NO_x is as follows;

- NO_x shows a stable value of 700 ~ 800 mg/Nm³ (reference O₂=6%). It is indispensable to evaluate the introduction of low NO_x burner.
- The fact that SO₂ sometimes shows the value of 0 mg/Nm³ suggests that the in-furnace desulfurization occurs in the boiler. Utilization of this phenomenon can provide an effective measure for reduction of SO₂. The study of factors of influence to this phenomenon (percentage of CaO, combustion temperature, O₂ concentration in combustion area, etc.) can enable to evaluate effective and economic improvement or reinforcement for desulfurization.
- The study of the relation among SO₂ fluctuation, the property of Lignite, fly ash and boiler operation is very important to design measures for desulfurization.
- It is immediately required to collect data of chronological changes (at least one month for both



Kosovo A and Kosovo B) of how SO₂ is fluctuating. This enables the analysis of the mechanism of this SO₂ phenomena in the future, leading to the design of the most optimized desulphurization process.

- e. At the workshops, JET introduced not only the probable dust, SO₂, NO_x reduction methods but also the necessary attention while applying these methods. In case of introduction of emission control technology to the boilers, it is important not only to know the present emission values but also to understand Lignite quality and features of the boiler in order to design appropriate measures and specifications.
- f. MESP has not yet conducted on-site stack gas measurement by themselves. More instructions and experience is required to master this technology. MESP has set a priority for KHMI and Environmental Inspectorate to master this technology, but also Kosovo Energy Corporation (hereinafter referred as "KEK") is interested to take part in this process.
- g. KHMI is in possession of the Ion Chromatograph, however they do not have the necessary experience to utilize it. KHMI needs to use the Ion Chromatograph as a reference method for on-site stack gas measurement and JICA support is necessary at this point. The use of the Ion Chromatograph method requires the following:
 - Ion Chromatograph method requires training of sampling and instructions for operation
 - In order to operate the Ion Chromatograph, one week is required for the set-up and adjustment of its instruments
 - Training for operation requires two weeks.
- h. Measurement of the mercury in the exhaust gas requires sampling and analysis technology.
 - KHMI has instruments and the experience for analyzing mercury
 - KHMI can provide reagents but needs a sampling technology and its instruments.
- i. KHMI request to analyze components in the dust by using Ion Chromatograph. However, JET has explained that priority in analysis by Ion Chromatograph shall be placed on the issues related to the EC Directive limited only to NO_x, and SO₂ measurement.
- j. In addition to air pollution control issues, KEK requests environmental management of the Power Plants as a whole. The JICA Head Office Mission responded that the air pollution control aspects are included in the MESP request already for JICA's consideration, but other environmental management aspects of TPPs shall be a separate request in future for which JICA's interest is unknown.
- k. MESP strongly requests continuity of JICA Experts for future JICA assistance, because JET in this mission is familiar with not only conditions and the situation in Kosovo A TPP, and Kosovo B TPP, as well as the technical ability of each counterpart for both preparation and issues in next project.
- l. JICA Head Office Mission will convey the Kosovo Side's requests above discussed to examine any possible supports in the requested technical cooperation project in 2015 - Capacity Development Project for Pollution Control for Major Emission Sources and relevant preparatory activities in 2016.

- End -

Handwritten signature
y M.S.