

## ウィーンの森を守った日本の環境技術

### Japanese Environment Technology to Protect the Vienna Forest



毛利 邦彦\*1  
MOURI Kunihiko

#### 1. はじめに

1979年、オーストリアでは原子力発電所が国民投票の結果、僅か1%の差で廃止となり、代替の石炭火力発電所建設にもNO<sub>x</sub>排出規制が適用となり、その運転許可が懸念されるなど電力会社としてはNO<sub>x</sub>低減技術の導入は急務であった。当時、日本は、いち早くNO<sub>x</sub>低減技術開発を独自に推進してきた。特に電源開発株式会社（以下「電発」と云う）はボイラーメーカーとの共同研究の成果をベースに、竹原火力1号機（250MW）に石炭火力用実証試験を開始し、更にその成果をベースに排煙脱硝装置を導入した竹原火力3号機（700MW）1983年に運転開始し、信頼性あるNO<sub>x</sub>低減技術を所有していた。オーストリア電力会社は日本の状況を調査するために1983年に技術者を日本に派遣した。その結果、電発とオーナーコンサルタント契約を締結し、日本の触媒式脱硝装置の導入を1984年に決定した。本プロジェクトは欧州の電力会社などに衝撃を与え、日本の環境対策技術が海外に移転する大きな契機となった。本プロジェクトの事実を整理しながら取りまとめたので背景と経緯およびその影響などを紹介する。

#### 2. オーストリアの状況

オーストリアの電力会社は Zwentendorf原子力発電所（692MW）を建設完了したが、1978年（昭和53年）に国民投票により廃止となり、代替の石炭火力発電所を1981年に建設を開始した。代替石炭火力発電所のDuernrohr発電所は、図1に示すウィーン郊外に立地され、政府系の電力会社VKG（Verbundkraft Elektrizitaetswerke GmbH）が1号機405MWを、NEWAG（Energieversorgung Niederoesterreich; 現EVN）社が2号機352MWを担当した。図2に完成したDuernrohr発電所の写真を示す。

当時の欧州は酸性雨による湖沼の酸性化や、黒い森、ウィーンの森の枯渇が大きな議論になっていた。この対策としてDuernrohr発電所にはスプレードライヤー方式

による排煙脱硝装置が導入されていたが、原因物質のNO<sub>x</sub>削減技術の導入計画はなかった。

オーストリア共和国はこの背景を受けてNO<sub>x</sub>の排出規制を強化したので、電力会社としては、信頼ある石炭火力用のNO<sub>x</sub>低減技術の導入が不可欠となり、世界中にNO<sub>x</sub>低減技術を探し求めている。

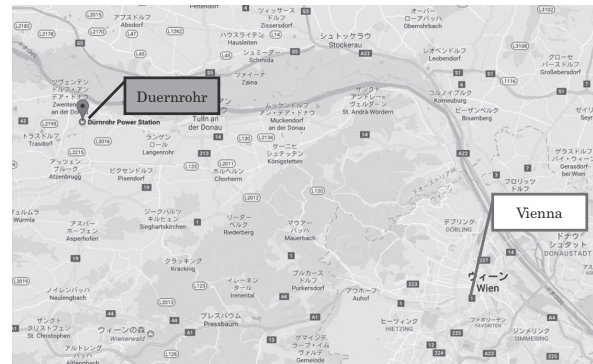


Fig. 1 Duernrohr発電所の位置



Fig. 2 完成したDuernrohr発電所  
（写真提供：EVN）

#### 3. オーストリア電力調査団の来日

オーストリア電力会社が最初に電発に接触したのは1983年の4月頃だった。シーメンス日本の所長が電発を訪問して、日本のNO<sub>x</sub>低減技術についての実情を聞き、オーストリアの調査団の受け入れが可能かとの相談から始まった。オーストリア電力会社の調査団は、1983年6月に来日して、電発のNO<sub>x</sub>低減技術開発の状況と松島火

原稿受付 2017年8月7日

\*1 毛利塾塾長（元 電源開発株式会社）  
〒238-0042 横須賀市汐入町2-36  
E-mail: mourik@jcom.zaq.ne.jp

力（石炭：500MW×2）の視察および東北電力株式会社仙台火力発電所（石炭：175MW×3）の視察を実施した。

図3に当時の調査団の写真を紹介するが、VKGの責任者はSchumocher氏、NEWAGはRaffelsberger氏であった。

この視察の後で、オーストリア側から電発に脱硝触媒方式によるオーナーコンサルタントの非公式な打診があったが、欧州の国が、日本に技術移転協力を求めることには半信半疑であった。1983年9月にテレックスにて長文のLOI (Letter Of Interest) が届き、オーストリア側の本気度が解った。1983年10月にウィーンにてプロジェクトの交渉が開始された。



Fig. 3 オーストリア使節団と筆者  
松島火力向け通船上にて

#### 4. 1983年代までの日本の公害問題と大気汚染状況

1960年代の高度成長時代の影の部分として、表1に示す四大公害病が深刻な課題として四日市喘息、水俣病、イタイイタイ病、光化学スモッグ等の大気、水質に健康に影響する大きな被害が顕在化し、政府はその防止の為に厳しい公害規制を製造業に課し、技術開発を国、電力会社、メーカーなどが一体化して実用化を目指した。

大気については、酸性雨による森林の枯渇や湖の酸性化など自然破壊の懸念と四日市喘息に代表される呼吸器疾患の増大が社会問題として大きく取り挙げられていた。

Table 1 日本の四大公害病

公害名	年代	公害の内容	原因
水俣病	1960年代	チッソ(現在JNC)の熊本県水俣市にある水俣工場が水俣湾に流した廃液による水銀汚染の食物連鎖で起きた公害病である。そして、環境汚染の食物連鎖で起きた人類史上最初の病気である。1966年(昭和41年)に発生が確認された。	メチル水銀化合物
イタイイタイ病	1910年頃、1968年に問題化	三井金属工業神岡鉱山からの廃水により神通川流域に「いたいたい」との症状を訴える患者が多く、カドミウム化合物由来である公害と判明した。荻野昇医師が解明	カドミウム
第二水俣病	1965年に顕在化	昭和電工の廃液による水銀汚染の食物連鎖で起きた公害病である。そして、1965年(昭和40年)に確認された四大公害病の一つである。	メチル水銀
四日市喘息	1960年から1972年頃	四日市コンビナートより排出された硫酸酸化物などにより大気汚染により住民の気管支系疾患が政治問題化した公害問題	硫酸酸化物

WHO（世界保健機構）が定めた健康に影響のない環境基準を達成するために国は排出基準を定めたが、横浜方式と呼ばれる自治体が国の基準より厳しい排出協定を締結して、排出量を年々低減させて行った。環境基準の達成には技術開発の成功や燃料転換などにより改善されて行き、二酸化硫黄について1983年度以降はほぼ達成して現在に至っている。

窒素酸化物については、1983年時点では達成出来て無く、その後も横ばいが続いた状況で排煙脱硝装置の導入が不可欠の時代であった。二酸化硫黄の低減と二酸化窒素の環境基準の推移は図4に示すとおりである。

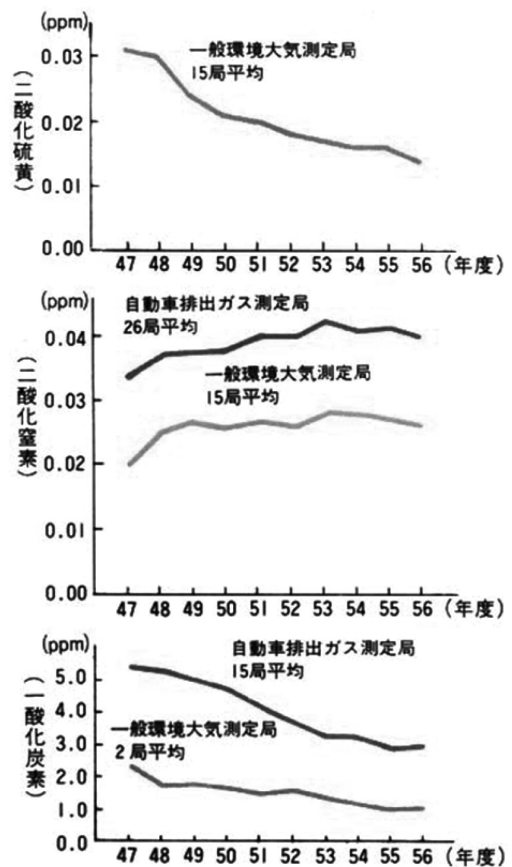


Fig. 4 環境基準の年度別測定結果  
出典：昭和58年度環境白書

#### 5. 電発石炭火力用の窒素酸化物の技術開発

電発の技術開発は大手ボイラーメーカーとの共同研究として脱硝触媒開発と燃焼改善による制硝技術開発の二本立てで進められた。燃焼改善技術は発生NO<sub>x</sub>が低減できれば、脱硝触媒設備費が減少出来るとの評価による。

脱硝技術に対して燃焼改善によるNO<sub>x</sub>低減技術を制硝技術と云うが、主な開発状況を表2に取りまとめた。1983年当時の目標は試験炉で100ppm以下を目標とした。

ボイラーメーカーの試験炉による削減結果と実ボイラーとのNO<sub>x</sub>発生量は相違するので、試験炉と実ボイラーとの相関性を見いだすことが課題の一つでもあった。

Duernrohr発電所のボイラー供給者であるSteinmuller,

Table 2 制硝技術開発の一覧

項目	概要	特記	成果	実プラント
(2) 燃焼改善				
IHI	DFバーナーに至るまで、フォスターウィラーのライセンス関係で開発が遅れた。	IHI独自で開発しても、ライセンスはFWとなる。	相生研究所で大型試験プラント、複数バーナーにて海外炭を試験	IHIのボイラーに採用。現在はFWとのライセンス契約は解除
パブ日立	PGバーナーとNOx発生メカニズムに対応したバーナー開発に成功	パブ日立試験所で複数バーナーにて試験を実施。	海外炭での試験で100ppmを着る成果を得た。	英国パブを買収するなど海外にも展開
MHI	香焼工場に試験装置を増設して、コーナーファイヤリングへの概要	濃淡燃焼論でバーナー開発	PMバーナーに至るまで、SGRバーナーなど試行錯誤を実施	CREバーナー関係のライセンス関係はなく、海外への展開が容易
KHI	貫流ボイラー用のスワールバーナーを開発	試験所で、二段燃焼率を上昇させると、均一燃焼を成ることを確認	一次空気のスワールによる注入方法は効果がある事を確認	自社ボイラーへの採用
備考	NOx規制強化に伴い、触媒開発は不可欠であったが、設置スペースの関係で磯子・高砂既設には触媒式は不可能。また触媒入り口濃度が低いと触媒量が減少するので経済的であったので、試験炉で目標値を100ppm以下と定めた。			

注：パブ日立はパブコック日立、MHIは三菱重工業、IHIは石川島播磨重工業、KHIは川崎重工業

Table 3 電発の触媒式パイロット試験総括

項目	概要	特記	成果	実プラント
(1) 脱硝触媒				
日立造船	最初にパイロット試験を磯子火力で実施	石炭火力用の触媒を最初に開発	アルミ系は硫黄による被毒があり、寿命が短く、触媒の再生技術開発も実施	東電のガスタービン用触媒に採用
パブ日立	竹原1号機で1,000Nm <sup>3</sup> /hパイロットおよび100Nm <sup>3</sup> /h	リング触媒失敗、移動床による触媒破風採用、低酸化触媒と自社製造	100Nm <sup>3</sup> /hのパイロットで10,000時間以上の性能を達成	竹原1号実証装置、デュールンロールなど
MHI	高砂火力でパイロットを実施した。	ボード触媒最初に採用グリッド、無垢触媒開発は若干遅延。	石炭火力用の触媒開発に成功	電力会社のプラントに採用
IHI	パイロット試験はかなり遅れて磯子火力で実施。	酸化率を達成に時間を要した。	石炭火力用触媒の開発に成功	電力会社のプラントに採用
KHI	竹原火力でパイロット試験。大手メーカーより早期に開発を始めた。	円筒触媒に固守したが触媒開発の取り組みは評価	性能は満足、触媒の再生試験も実施	竹原1号実証装置、など

EVTとの技術会議で明らかになったことであるが、欧州はボイラーメーカーとバーナーメーカーは独立した技術と見なしていた。

NOxの排出量の保証はボイラーメーカーの実績、経験に基づいて、設計をしていたので、日本の設計思想とは大きく相違していた。

確かに、家庭で使う「ガスコンロ（バーナー）」と「やかん」は別であるが、日本の技術開発はボイラーとバーナーを一体システムとして、試験炉による低NOxバーナーと二段燃焼などの総合的な制硝技術開発を進めていた。

欧州ボイラーメーカーには試験炉によるNOx制硝技術開発の手法はなく、合理性のある日本の燃焼技術は欧州に比べて遙かに進んでいたと感じた。

ただし留意しなければ成らないこととして

- ① 欧州のボイラーはwet boiler であり、日本のボイラーはdry boiler であること。
- ② 欧州はタワーボイラーでボイラーと煙突が一体化していること、日本は米国式のコンベクション式であること。

### 6. 触媒式脱硝装置の開発

電発は触媒式脱硝装置を1974年（昭和49年）旧磯子火力発電所（250MW×2）に100Nm<sup>3</sup>/hのパラレルフロー式の触媒のパイロット試験を実施した。石炭火力用脱硝触媒の課題は性能、寿命の他に、触媒が石炭灰による閉塞があった。この磯子火力での試験結果からパラレルフローは石炭灰による閉塞はない事が確認され、空気予熱器のエレメント形状、ハニカム形状、格子形状の触媒も石炭火力に適用できるとの成果を得た。当時は色々な形状の触媒をパイロット試験で研究を実施した。リング状触媒、シリンダー触媒、ボード状触媒などがあったが、格子状触媒のようなパラレル形状が主流の形状となった。

触媒式脱硝装置共同研究の実施概要を表3に示すが、1974年（昭和49年）から1981年（昭和56年）までの長期に亘り、性能（80%以上）、寿命（1年以上）、SO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>

酸化率（1%以下）の目標を達成した。

この触媒開発の結果、触媒寿命は1年以上を保証させたが、Duernrohr発電所は2年以上とした。現在では長期間の性能が維持されている事が確認されている。

開発初期の触媒は数ヶ月で性能は低下して、実用に供給できる触媒開発には時間を多く要した。特に脱硝触媒は硫酸を製造する酸化触媒（V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）を用いていたために、排煙中の二酸化硫黄（SO<sub>2</sub>）を酸化し三酸化硫黄（SO<sub>3</sub> 無水硫酸）になりやすいので、酸化率の低い脱硝触媒を開発しなければ成らなかった。

1981年までに電発は石炭火力用触媒式脱硝装置の技術確立の自信を得たので、竹原火力1号機に国の補助により250MWの実証試験を1981年に開始した。この実証試験装置は、現在も稼働中で有るが、新竹原1号機（600MW；2020年運開）の建設により2018年3月に停止が予定されている。

### 7. 会議は踊る@ウィーン、されど進んだ

オーストリア電力会社の求めに応じて、ウィーンにてDuernrohr発電所のオーナーコンサルタント業務の交渉が1984年10月に行われた。

会議室はVKGの本社で、天井の高い薄暗い広い会議室であった。中林恭之氏を代表として、VKG、NEWAGと交渉が開始された。

電発側からは概念設計、詳細設計と見積もり評価、および施工管理を提案した。この内容について問題は無かったが、業務期間を5年と提案したが、オーストリア側は2年で完了して貰いたいと要求してきた。中林氏はこの期間については譲らず、英語で「This project is cancelled」と叫んだ瞬間、オーストリア参加者は一瞬の静寂のあと、ドイツ語で「ざわつき」、終始が付かなくなった。10分位経ったあとで、副社長のWagner氏が、電発の提案を受け入れるが、業務の進行を早めて貰いたいと発言があり、本契約に向けた交渉が始まった。1984年1月に概念設計の契約が締結された。

## 8. Duernrohr発電所概要

Duernrohr発電所の概要は表4に示す。

ポーランド炭が主燃料であり、燃焼性硫黄は0.6-0.8%、と比較的低く、灰分は約12%、窒素分は1.6%あった。環境技術対策としては脱硫率90%のスプレッドライヤー（半乾式脱硫装置）、99.8%の電気集塵装置が初期の設計に組み入れられていた。脱硝装置の仕様は日本での開発目標値である脱硝効率80%以上とした。

Table 4 発電所主仕様

項目	単位	1号機 (VKG)	2号機 (NEWAG)
発電所出力	MW	405	352
ボイラー蒸発量	t/h	1,135	1,018
ボイラー主蒸気温度	℃	540	540
ボイラー主蒸気圧力	bar	258	206
石炭性状(ポーランド炭)			
○到着ベース発熱量	MJ/kg	23.4-29.3	
○灰分(工業分析)	%	8~18	
○水分(工業分析)	%	7~12	
○意窒素分(元素分析)	%	1.6	

## 9. プロジェクト業務と工期

プロジェクト業務は概念設計、詳細設計、入札審査、および施工管理であるが、前項で5年とした工期については、EVN (IHNEWAG) より発電所の竣工時期が繰り上がったので、業務の大幅繰り上げの要請があった。結局1987年に業務は完了した。

この時の契約金額交渉で相手から期間が短くなるので「人工(にんく)」が削減されるので、契約金額を下げるべきでは無いかと提案に、中林氏は早く業務を終了させるので、むしろ「新幹線料金」を頂きたいと提案した結果、予め合意に足していた金額に落ち着いた。成熟した社会での「紳士の」交渉と思った。

## 10. 脱硝装置の仕様

脱硝装置の仕様は基本的に、日本の仕様と同じとした。表5にその概要を示す。脱硝装置は排ガスの全量を処理する大型の反応器が必要とされた。

Table 5 脱硝装置の概要仕様

項目	単位	1号機 (VKG)	2号機 (NEWAG)
処理容量	Nm <sup>3</sup> /h	1,210,000	1,038,000
脱硝効率	%	80以上	80以上
入り口No <sub>x</sub> 濃度	ppm	800	800
出口No <sub>x</sub> 濃度	ppm	160	160
転換酸化率	%	1.5以下	1.5以下

## 11. 脱硝装置の配置について

タワーボイラーにおける脱硝反応領域は節炭器の上流で420℃領域である。タワーボイラーの節炭器はボイラー上部にあるので、相当の高さに配置しなければならなかった。図5にその断面図を示す。また図6に完成後の脱硝装置の写真を示す。

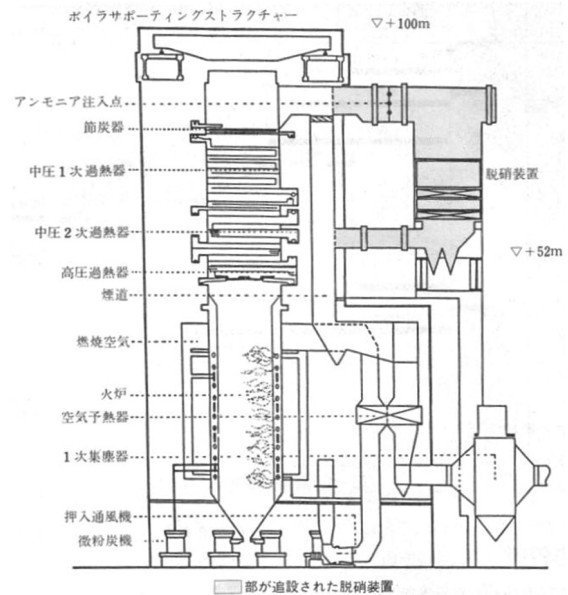


Fig. 5 タワーボイラーでの脱硝装置の配置



Fig. 6 Duernrohr発電所の脱硝装置の位置

## 12. 日本メーカーと欧州メーカーの共同応札

日本の技術をどのように導入するかについては、オーストリア側からの提案により、入札条件に日本と欧州メーカーとの共同体にて応札する条件を付した。

これにより、次の日本メーカーと欧州メーカーとの連携を模索して、上記三者による応札が行われた。

日立とVoestalpine

MHIとSimmering-Graz-Pauker (SGP)

IHIとWagner Biro

KHIとGerman Babcock

結果は日立グループとなり、日立の触媒が納入された。

海外へのシステムを輸出する場合は、Turn-key契約で、「お任せ契約」が多いが、オーストリア側は日本の技術の調達を意図していたので、相互に相談しながらプロジェクトを推進させた。それ故本プロジェクトは、一般の製品の輸出では無く、「オーストリアに適合した」技術移転の思惑を持っており、広い意味での共同プロジェクトではないかと思っている。

13. プロジェクトの工程

プロジェクトの概念設計は1984年10月に終了し、詳細設計は1985年2月に終了した。

入札は1985年3月-5月まで実施された。発電所の建設に併せて脱硝装置が据え付けられたが、その施工管理、試運転まで実施して、Duernrohr発電所の運開の1985年3月に間に合わせる事が出来た。

14. オーストリアにおける本プロジェクト関心

オーストリア共和国ではこのプロジェクトへの関心は非常に高く、新聞もこのプロジェクトの中心人物である中林氏のインタビュー記事を書いている。

この記事について図7、図8に示す。日本ではあまり知られていない本プロジェクトはオーストリアだけではなく、欧州全体に強い関心をもたらしした。スイスの雑誌には「0型新幹線」の技術と共にDuernrohrプロジェクトが紹介されていた。



Fig. 7 中林氏のインタビュー記事



Fig. 8 竹原火力と中林氏のインタビュー記事

15. 欧州への電発の環境技術移転

ポストDuernrohrプロジェクトとして、EVNは電発と技術情報交換協定を締結して、関係の維持を図った。

このプロジェクトの成功は欧州各国に波及して、日本の優秀な技術のPRとなった。電発もNOx低減技術の技術移転のプロジェクトをデンマーク、フィンランドなどの電力会社と実施した。この実績を表6に示す。電発はオーナーコンサルタン業務の提供のみを実施していたためビジネス成立には限界があり、電発と共同研究したメーカーが触媒技術と燃焼改善技術を欧州に展開した。

残念ながら、電発の欧州での環境ビジネスは花開かなかったが、日本の環境技術の高さを紹介する先兵として

Table 6 電発の欧州へのプロジェクト展開

Table with 5 columns: 技術提供内容, 相手方, 国名, 契約年, 業務内容. It lists various projects like SCR technology, NOx reduction, and combustion improvements in Sweden, Germany, and Finland.

貴重な役割を担った。

16. Duernrohrプロジェクトの評価について

このプロジェクトについて、EVNの技術者Frank Klemmとメールの交換(2016年1月)をしたが、彼はDuernrohrプロジェクトについて次のようにコメントしてきた。原文は長文であるので、その一部を紹介する。[Dear Mouri-San!

First of all an excellent project depends on excellence people and the right configuration or constellation of this people. In this case the president, his adviser and the assistant.

The power station with catalyst plant was constructed and went into operation in September 1986 in time and the best example for success is that parts of the first layer of catalyst are still in operation today. (原文のまま)

このプロジェクトの成功で欧州での酸性雨対策が浸透してウィーンの森の枯渇を救ったと考えている。

17. あとがき

オーストリアのプロジェクトについて、時代と共に忘れ去れて来ている。今から30年の昔話であるので電発の現役もその実態を把握していない。大正初期には「明治は遠くなりにはけり」と感じた人がいた。平成の今「昭和は遠くなりにはけり」と思う方も多いと思う。

しかしながら、歴史の中に学ぶことは多い。過去と現在の延長線の上に未来がある。歴史を深く理解することが未来を見通せる創造力の醸成に繋がる。それは現在の研究者や技術者が確実に未来の人に見られ評価される運命にあることを自覚しなければならない。

本件について今まで語る機会が無かったが、京都大学の吉田英生氏より「東西南北地水火風」のコラムを設けたのでとのお誘いを受けた。ガスタービンの広がりには関係が薄いが海外との電力会社との繋がりとして、またエネルギー関連の事例として、整理して取りまとめたものである。

本書が、未来の技術の展開についての少しでも道筋を見いだして頂けることを切望している。

末尾ですが、本プロジェクトで最も活躍した電発の故本多勝哉氏の奥様英子氏より資料をお借りしたことに感謝を申し上げます。また、電発OBの中林恭之氏および電源開発株式会社に、一部情報を提供して頂いたことに感謝申し上げます。