

JAERI-Tech  
95-013



電子ビームによる排煙処理パイロット試験結果  
(共同研究)

1995年3月

南波秀樹・徳永興公・橋本昭司  
田中 雅\*・小倉義己\*・土居祥考\*\*・青木慎治\*\*・井筒政弘\*\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課(〒319-11 茨城県那珂郡東海村)あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター(〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内)で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1994

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 (株)高野高速印刷

電子ビームによる排煙処理パイロット試験結果

日本原子力研究所高崎研究所環境・資源利用研究部

南波 秀樹・徳永 興公・橋本 昭司・田中 雅\*

小倉 義己\*・土居 祥孝\*\*・青木 慎治\*\*・井筒 政弘\*\*

(1995年2月3日受理)

本報告書は、乾式で同時に脱硫・脱硝ができる電子ビーム照射式排煙処理法の技術的確立を図ることを目的として、中部電力(株)新名古屋火力発電所の構内に、実際の石炭燃焼排煙(12,000m<sup>3</sup>N/h)を用いたパイロットプラントを建設し、平成4年11月から平成5年12月にかけて行った実証試験の成果をまとめたものである。

主要な成果は以下のとおり。

①脱硫・脱硝性能

種々の入口SO<sub>2</sub>濃度(250~2,000ppm)およびNO<sub>x</sub>濃度(140~240ppm)における排ガス条件(O<sub>2</sub>:10~11% [ドライベース], H<sub>2</sub>O:5~6% [ウェットベース])にて試験を行い、脱硫・脱硝性能を調べた。その結果、電子ビームの吸収線量、処理ガス温度、アンモニア添加量を適切に設定することによって、低濃度から高濃度までのいずれの排ガス条件においても目標(SO<sub>2</sub>除去率94%; NO<sub>x</sub>除去率80%)を上回る高い脱硫・脱硝性能を得ることができた。

②副産品捕集性能

電気集塵器に関しては、荷電量、槌打周期等の運転条件を適切に設定することにより、集塵効率99%以上の高い集塵性能を得ることができた。電気集塵器の後流側に設置したバグフィルタの出口での煤塵濃度は、0.1~0.4mg/m<sup>3</sup>Nと非常に低い濃度であった。また、副産品は比較的電気集塵器で捕集しやすい性状であるため、集塵面積を増やすことにより、バグフィルタなしでも出口の煤塵量を5mg/m<sup>3</sup>N程度まで低減できる見通しを得た。

③機器の信頼性・制御性の確認

本試験プラントでは、排ガス冷却方法、電子ビームの電圧、窓箔部の構造および窓箔部冷却システム等に大容量の実機と同じものを採用し、性能、制御・信頼性、耐久性等の確認を行った。

---

本報告書は、日本原子力研究所、中部電力株式会社、株式会社荏原製作所が平成3年度から平成5年度にかけて行った共同研究「電子線照射式脱硫・脱硝技術に関する開発研究」のうちパイロットプラントでの実証試験の主要な成果をまとめたものである。

高崎研究所：〒370-12 群馬県高崎市綿貫町1233

\* 中部電力株式会社

\*\* 株式会社荏原製作所

④副製品の品質

副製品の成分分析、栽培試験の結果、市販の窒素肥料と全く遜色ない品質を有していることを確認した。本試験プラントで生成した副製品は、肥料取締法に基づく副産窒素肥料として認定され、正式に肥料登録した。

Pilot-scale Test for Electron Beam Flue Gas Treatment  
of Coal-fired Boiler

Hideki NAMBA, Okihiro TOKUNAGA, Shoji HASHIMOTO, Tadashi TANAKA \*  
Yoshimi OGURA \*, Yoshitaka DOI \*\*, Shinji AOKI \*\* and Masahiro IZUTSU \*\*

Department of Radiation Research for Environment and Resources  
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received February 3, 1995)

The report summarizes the results of pilot-scale test conducted from November 1992 to December 1993 in the premises of Shin-Nagoya Power Plant of Chubu Electric Power Company to establish the technology to remove SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> simultaneously in dry process by electron-beam irradiation.

The results are summarized as follows ;

1) SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> removal efficiency

The tests were conducted to prove enough SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> removals for wide concentration range (SO<sub>2</sub> : 250-2,000ppmv, NO<sub>x</sub> : 140-240ppmv) under the flue gas condition of O<sub>2</sub> 10-11% in dry base and H<sub>2</sub>O 5-6% in wet base. The electron beam method achieved higher removal performance than the target (SO<sub>2</sub> removal : 94%, NO<sub>x</sub> removal : 80%) under all flue gas conditions sited above, with properly controlled absorbed dose, flue gas temperature and amount of ammonia injection.

2) Byproduct collection

More than 99% of particulate was collected by the electrostatic precipitator (ESP) with optimizing charge current and rapping cycle of ESP. Particulate

---

This report describes main results of the pilot plant test which has been done in the framework of co-operative research work with Japan Atomic Energy Research Institute, Chubu Electric Power Company and Ebara Corporation on " Research and Development of De-SO<sub>x</sub> and De-NO<sub>x</sub> with Electron Beam Irradiation" from fiscal year 1991 to 1993.

\* Electric Power Research & Development Center, Chubu Electric Power Company

\*\* Environment & Chemical Plant Engineering Department, Ebara Corporation

concentration at the outlet of the bag filter installed downstream of ESP was as low as 0.1-0.4 mg/m<sup>3</sup>N. It is expected that particulate concentration at ESP outlet could be reduced to the level of 5 mg/m<sup>3</sup>N with increased collecting plate-area of ESP even without bag filter.

3) Controllability and reliability of equipment

The performance, controllability, reliability, and durability of the system were confirmed through the test operation using the same flue gas cooling system, electron beam voltage, structure and cooling system of window foils as those of actual scale plant.

4) Quality of byproduct

It was proved that the byproduct had excellent quality as same as that of nitrogenous fertilizers on market with the result of chemical analysis and plant growth test. The byproduct was officially registered as an agricultural fertilizer under the Fertilizer Control Act in Japan.

keywords : Electron Beam, Pilot-scale Test, Coal-fired Boiler, Thermal Plant, SO<sub>2</sub> Removal, NO<sub>x</sub> Removal, Agricultural Fertilizer, Electrostatic Precipitator

## 目 次

1. 経緯と目的 .....	1
2. 試験プラントの概要 .....	1
2.1 目標性能 .....	1
2.2 プロセスフローおよび反応メカニズム .....	1
2.3 主要機器仕様 .....	1
2.4 試験工程 .....	3
3. 試験結果 .....	3
3.1 脱硫・脱硝性能 .....	3
3.2 副生品捕集性能 .....	4
3.3 機器の制御・信頼性の確認 .....	4
3.4 副生品の品質 .....	5
4. まとめ .....	6

## Contents

1. Background and Objectives .....	1
2. Outline of Pilot Plant .....	1
2.1 Target Performance .....	1
2.2 Process Flow Diagram and Reaction Mechanism .....	1
2.3 Specification of Major Equipments .....	1
2.4 Test Schedule .....	3
3. Results of the Test .....	3
3.1 SO <sub>2</sub> and NO <sub>x</sub> Removal efficiency .....	3
3.2 Collection of Byproduct .....	4
3.3 Controllability and Reliability of Equipments .....	4
3.4 Quality of Byproduct .....	5
4. Conclusions .....	6

## 1. 経緯と目的

火力発電所における排煙処理は、脱硫、脱硝とも技術的には完成の域に達しているが、脱硫については湿式方式であり、複雑な設備構成の上、排水処理を必要とし、脱硝は定期的に取り替えを要する高価な触媒を必要としている。

電子ビームによる排煙処理法は、従来技術の上記課題をクリアし、技術的、経済的な向上を目指す乾式排煙処理技術のひとつとして研究開発が行われている。

日本原子力研究所、中部電力株式会社、株式会社荏原製作所の三者は、平成2年度に行った模擬ガスによる基礎試験の結果、わが国の石炭火力排煙処理に要求される性能を満足する見通しを得た。

引き続き平成3年度から平成5年度にかけて、実際の石炭燃焼排煙を処理する試験プラントを中部電力(株)新名古屋火力発電所構内に建設し、

- ・ 厳しい環境規制に対応できる性能の検証
  - ・ 実機的设计、検討、評価のために必要な定量的諸特性の把握
  - ・ 長時間運転によるプラントの信頼性及び制御性の評価
- 等を主な目的とした実証試験を行った。

## 2. 試験プラントの概要

### 2.1 目標性能

排煙処理量: 12,000 m<sup>3</sup>N/h

脱硫率 : 94% (入口SO<sub>2</sub>:800ppm)      脱硝率: 80% (入口NO<sub>x</sub>:225ppm)

出口煤塵量: 10mg/m<sup>3</sup>N以下      出口NH<sub>3</sub>濃度: 10ppm以下

### 2.2 プロセスフローおよび反応メカニズム

試験用石炭燃焼ボイラからの排煙は、フライアッシュ用電気集塵器、GGH(熱回収器)を経て冷却塔の上部に導入され、スプレー水により約65℃まで冷却される。

反応器では、電子ビームが排ガスに照射され、生成する活性種の作用により排ガス中の硫黄酸化物、窒素酸化物が酸化されて硫酸、硝酸になり、さらには、電子ビーム照射前に注入されたアンモニアと反応して硫酸、硝酸(副生品)となる。

生成した副生品は、電気集塵器及びバグフィルタによって除去、回収され、副生品処理装置を経て出荷される。

試験プラントのプロセスフロー、反応メカニズム及び装置全景を図-1、図-2、図-3に示す。

### 2.3 主要機器仕様

冷却塔	水スプレー完全蒸発型
反応器	横置き側面3段照射方式
電子ビーム発生装置	800kV×4.5mA×3台
副生品回収装置	乾式電気集塵器及びバグフィルタ
副生品処理装置	スチームチューブドライヤ及びロータリークーラー



## 1. 経緯と目的

火力発電所における排煙処理は、脱硫、脱硝とも技術的には完成の域に達しているが、脱硫については湿式方式であり、複雑な設備構成の上、排水処理を必要とし、脱硝は定期的に取り替えを要する高価な触媒を必要としている。

電子ビームによる排煙処理法は、従来技術の上記課題をクリアし、技術的、経済的な向上を目指す乾式排煙処理技術のひとつとして研究開発が行われている。

日本原子力研究所、中部電力株式会社、株式会社荏原製作所の三者は、平成2年度に行った模擬ガスによる基礎試験の結果、わが国の石炭火力排煙処理に要求される性能を満足する見通しを得た。

引き続き平成3年度から平成5年度にかけて、実際の石炭燃焼排煙を処理する試験プラントを中部電力(株)新名古屋火力発電所構内に建設し、

- ・ 厳しい環境規制に対応できる性能の検証
- ・ 実機の設計、検討、評価のために必要な定量的諸特性の把握
- ・ 長時間運転によるプラントの信頼性及び制御性の評価

等を主な目的とした実証試験を行った。

## 2. 試験プラントの概要

### 2.1 目標性能

排煙処理量: 12,000 m<sup>3</sup>N/h

脱硫率 : 94% (入口SO<sub>2</sub>:800ppm)      脱硝率: 80% (入口NO<sub>x</sub>:225ppm)

出口煤塵量: 10mg/m<sup>3</sup>N以下      出口NH<sub>3</sub>濃度: 10ppm以下

### 2.2 プロセスフローおよび反応メカニズム

試験用石炭燃焼ボイラからの排煙は、フライアッシュ用電気集塵器、GGH(熱回収器)を経て冷却塔の上部に導入され、スプレー水により約65℃まで冷却される。

反応器では、電子ビームが排ガスに照射され、生成する活性種の作用により排ガス中の硫黄酸化物、窒素酸化物が酸化されて硫酸、硝酸になり、さらには、電子ビーム照射前に注入されたアンモニアと反応して硫酸、硝酸(副生品)となる。

生成した副生品は、電気集塵器及びバグフィルタによって除去、回収され、副生品処理装置を経て出荷される。

試験プラントのプロセスフロー、反応メカニズム及び装置全景を図-1、図-2、図-3に示す。

### 2.3 主要機器仕様

冷却塔	水スプレー完全蒸発型
反応器	横置き側面3段照射方式
電子ビーム発生装置	800kV×4.5mA×3台
副生品回収装置	乾式電気集塵器及びバグフィルタ
副生品処理装置	スチームチューブドライヤ及びロータリークーラー

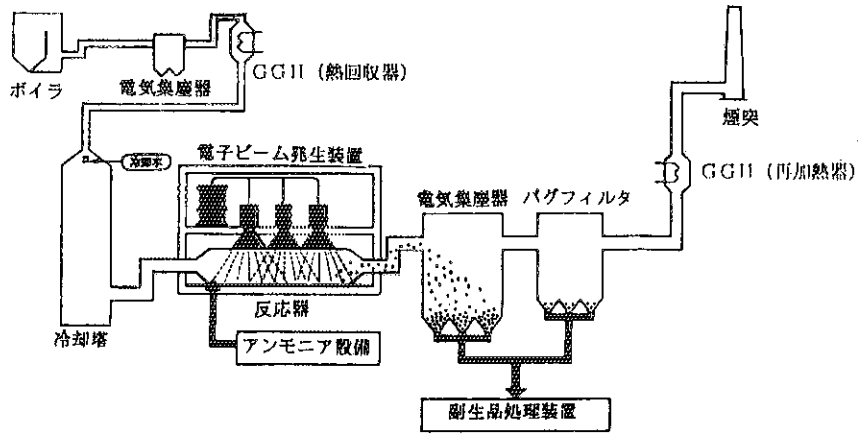


図-1 プロセスフロー

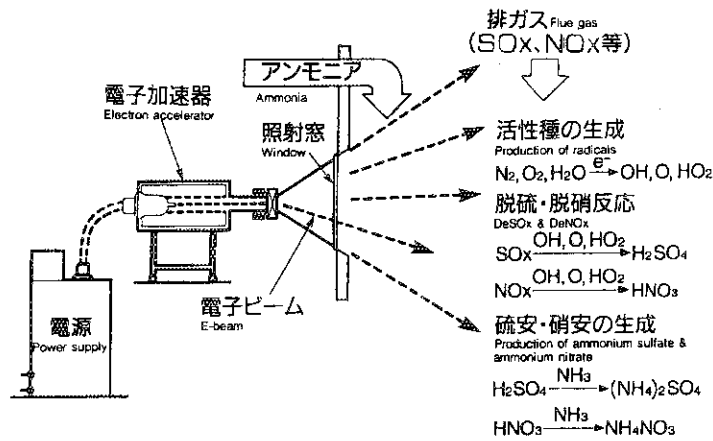


図-2 反応メカニズム

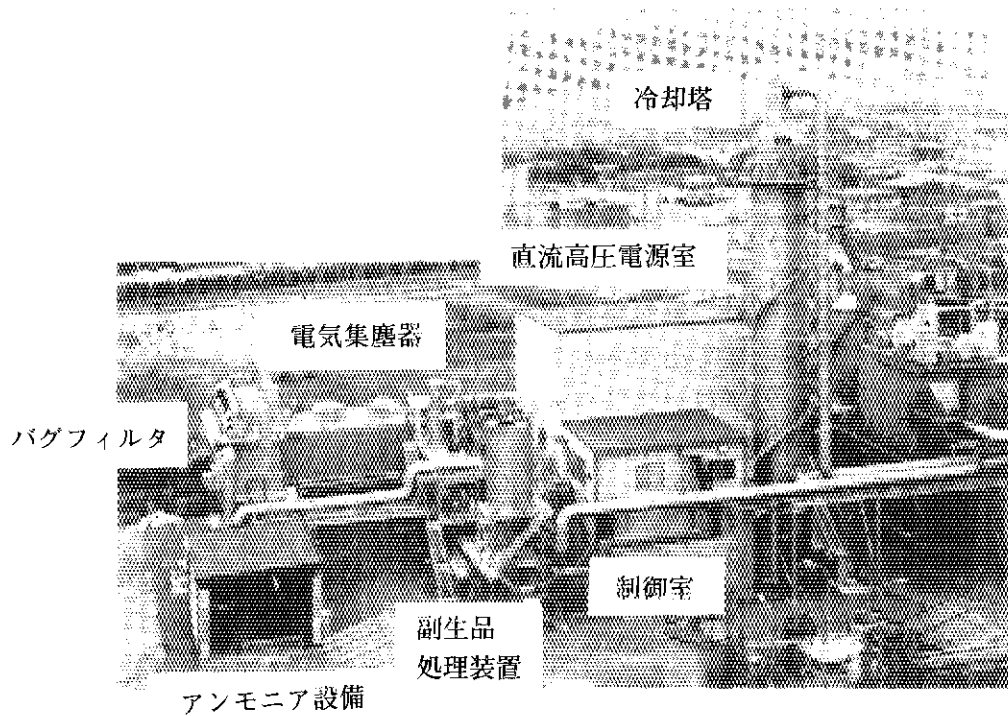


図-3 プラント全景

2.4 試験工程

平成3年	平成4年	平成5年	平成6年
7月	10月		
試験装置の設計・建設		12月	
		実証試験	
			3月
			評価

3. 試験結果

3.1 脱硫・脱硝性能

種々の入口SO<sub>2</sub>濃度(250~2,000ppm)及びNO<sub>x</sub>濃度(140~240ppm)における排ガス条件(O<sub>2</sub>:10~11%D.B.、H<sub>2</sub>O:5~6%W.B.)にて試験を行い、脱硫・脱硝性能を調べた。

電子ビームの吸収線量、処理ガス温度、アンモニア添加量を適切に設定することによって、低濃度から高濃度までいずれの排ガス条件においても目標性能を上回る高い処理効率を得ることができた。

主な脱硫・脱硝性能特性は以下の通り。

(1) 脱硫性能

図-4に示す如く排ガス処理温度が低くなる程、電子ビーム吸収線量が多いほど脱硫率が高くなる。

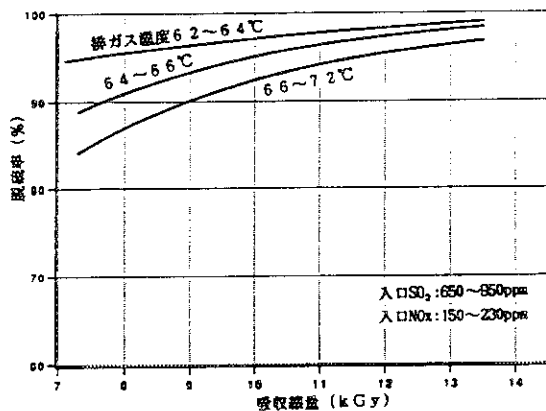


図-4 脱硫性能

(2) 脱硝性能

図-5に示す如く電子ビーム吸収線量が多いほど、また、入口NO<sub>x</sub>濃度が低いほど脱硝率が高くなる。

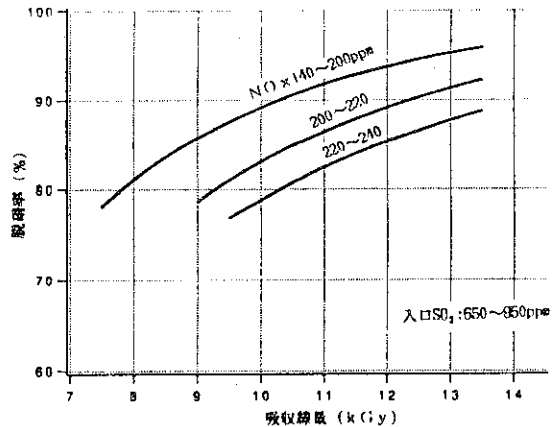


図-5 脱硝性能

注) 排ガスに吸収される電子ビームのパワーを排ガスの単位質量当たりの量として表現したものを「吸収線量」と呼び、排ガス1kgあたり1kJのパワーが吸収されたときの吸収線量を1kGy(キログレイ)と言う。

(3) その他の性能試験

電子ビームの加速管の配置、照射段数や照射部の排ガス流速、アンモニア添加量等の各種パラメーターが脱硫・脱硝性能に及ぼす影響を調査し、最適なプロセス条件を把握した。

2.4 試験工程

平成3年	平成4年	平成5年	平成6年
7月	10月	12月	3月
試験装置の設計・建設		実証試験	評価

3. 試験結果

3.1 脱硫・脱硝性能

種々の入口SO<sub>2</sub>濃度(250~2,000ppm)及びNO<sub>x</sub>濃度(140~240ppm)における排ガス条件(O<sub>2</sub>:10~11%D.B.、H<sub>2</sub>O:5~6%W.B.)にて試験を行い、脱硫・脱硝性能を調べた。

電子ビームの吸収線量、処理ガス温度、アンモニア添加量を適切に設定することによって、低濃度から高濃度までいずれの排ガス条件においても目標性能を上回る高い処理効率を得ることができた。

主な脱硫・脱硝性能特性は以下の通り。

(1) 脱硫性能

図-4に示す如く排ガス処理温度が低くなる程、電子ビーム吸収線量が多いほど脱硫率が高くなる。

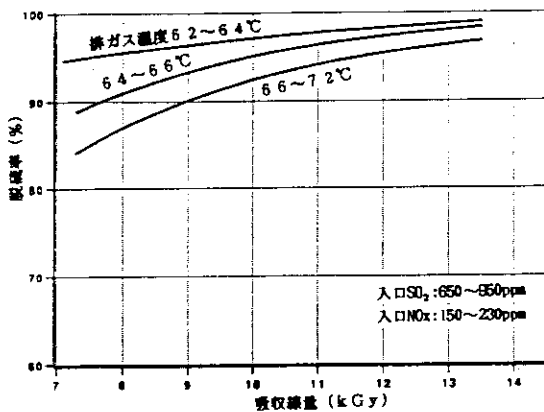


図-4 脱硫性能

(2) 脱硝性能

図-5に示す如く電子ビーム吸収線量が多いほど、また、入口NO<sub>x</sub>濃度が低いほど脱硝率が高くなる。

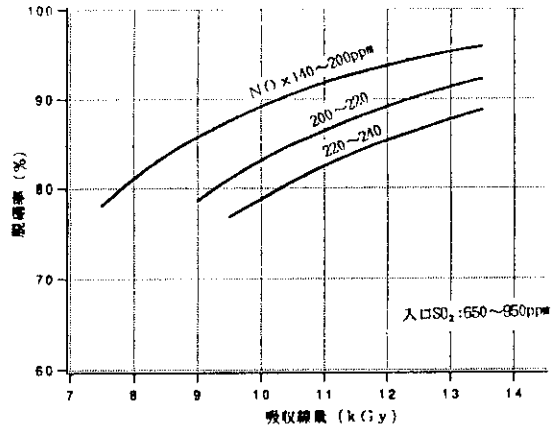


図-5 脱硝性能

注) 排ガスに吸収される電子ビームのパワーを排ガスの単位質量当たりの量として表現したものを「吸収線量」と呼び、排ガス1kgあたり1kJのパワーが吸収されたときの吸収線量を1kGy(キログレイ)と言う。

(3) その他の性能試験

電子ビームの加速管の配置、照射段数や照射部の排ガス流速、アンモニア添加量等の各種パラメーターが脱硫・脱硝性能に及ぼす影響を調査し、最適なプロセス条件を把握した。

3.2 副産品捕集性能

(1) 電気集塵器

荷電量、撻打周期等の運転条件を適切に設定することにより、集塵効率99%以上の高い集塵性能を得ることができた。

(2) バグフィルタ

電気集塵器の後流側に設置されたバグフィルタの出口においては、0.1~0.4 mg/m<sup>3</sup>Nと非常に低い煤塵濃度であった。

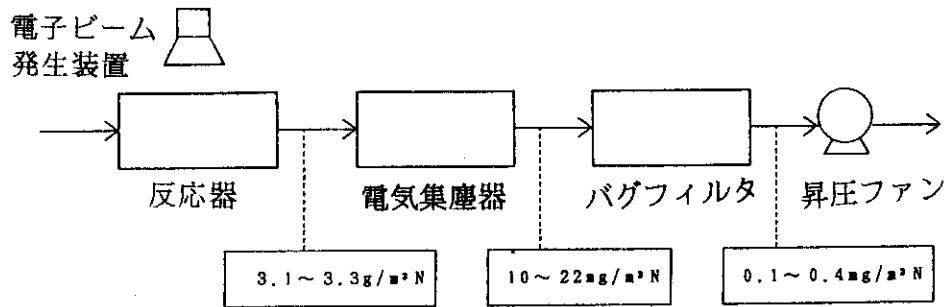


図-6 集塵性能

副産品は比較的、電気集塵器で捕集しやすい性状であり、集塵面積を増やすことにより、バグフィルタ無しでも出口煤塵量を5 mg/m<sup>3</sup>N程度まで低減できる見通しを得た。

3.3 機器の制御・信頼性の確認

本試験プラントでは、排ガス冷却方法、電子ビームの電圧、窓箔部構造及び窓箔部冷却システム等に大容量実機と同じものを採用し、性能、制御・信頼性、耐久性等の確認を行った。

(1) 電子ビーム吸収線量等の各制御要素を組み合わせた自動制御システムを構築したことにより、容易かつ安定した運転を行うことができた。図-7にトレンドチャートの一例を示す。

(2) 約3500時間の運転期間を通じて、プラント各部の信頼性、耐久性向上に関するノウハウを取得した。

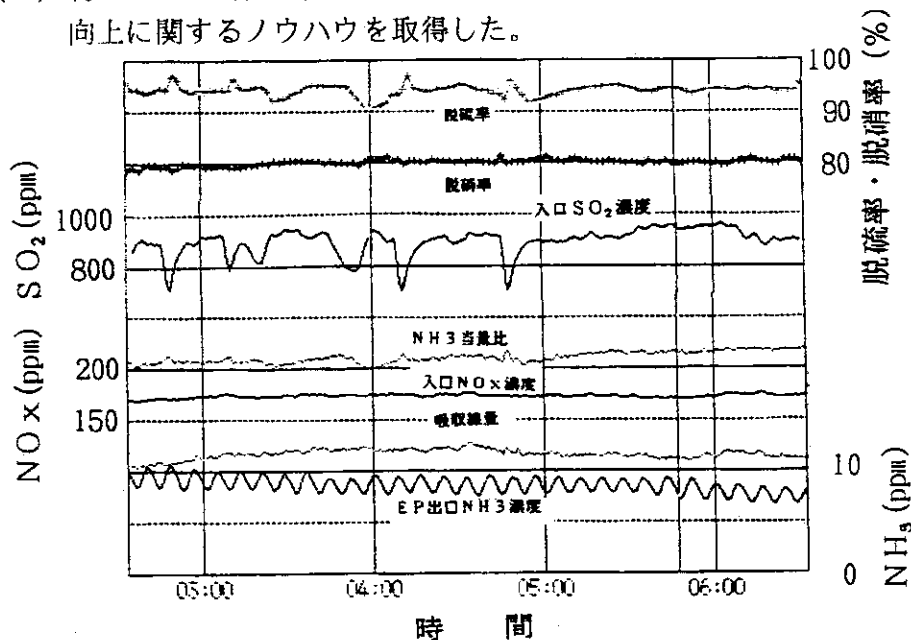


図-7 運転トレンドチャート

(3) 遮蔽室周辺のX線測定、排ガス中の微量物質の測定を行い、問題の無いことを確認した。

### 3.4 副製品の品質

副製品の成分分析、栽培試験の結果、市販の窒素肥料と全く遜色ない品質を有していることが確認された（下表及び図-8）。

なお、本試験プラントで生成した副製品は、副産窒素肥料として肥料登録（肥料名：EBA肥料）した。

副製品の成分分析例

硫 安	91.1%	アンモニア性窒素 20.5% 硝酸性窒素 1.2%
硝 安	6.7%	
不溶解分	1.9%	
含水率	0.3%	

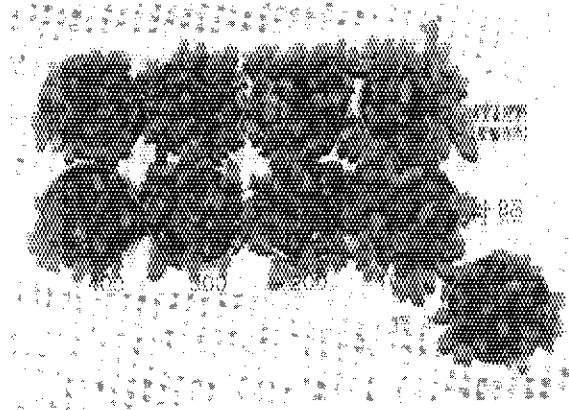


図-8 副製品による栽培試験

注) 肥料として含有すべき主成分の最小量は、肥料取締法（公定規格）で定められており、窒素肥料の例を下記に示す。

硫酸アンモニア（硫安）肥料	アンモニア性窒素 20.5%
副産窒素肥料	窒素全量、アンモニア性窒素、 硝酸性窒素または、アンモニア性窒素 及び硝酸性窒素の合計量の いずれかーについて 7.0%

#### 4. まとめ

1年余りのパイロット試験の結果、従来技術の最高水準と遜色ない処理効率  
が実証でき、良好な運転性、制御性を確認すると共に、機器の信頼性、耐久性  
及びプロセスに関して多くの性能データ、エンジニアリング・ノウハウを得る  
ことができた。

電子ビーム法は、従来技術に対して

- ・ 乾式法であり、排水処理が不要
- ・ 脱硫・脱硝が同時に行える
- ・ システム構成がシンプルで、運転が容易
- ・ 高価な脱硝触媒を必要としない
- ・ 副産物は、窒素肥料（硫安、硝安）として有効利用できる

等の長所を有しており、今回の試験結果をもとに、平成6年度に大容量実機の  
試設計を行い、経済性等の評価を行っている。

最近の新設の電力事業用火力発電所の単機容量は、700～1,000MW、  
排ガス量にして2,300,000～3,300,000 $\text{m}^3\text{N/h}$ であり、これは本  
パイロット試験設備の200～300倍の容量となる。

実用化に向けた次のステップとして、中間規模（排ガス量300,000～  
500,000 $\text{m}^3\text{N/h}$ ）の実証プラントにおいて長期間耐久性、信頼性等を実証  
することが必要である。