

セメントキルン用高効率低NO_xバーナの開発

I C E T T - 西神田研究室 (太平洋セメント株)

主任研究者 金子 行夫

研究員 中崎 雅文、斎藤 紳一郎、上野 直樹
長谷川 聡、進藤 拓也、鈴木 貴彦
内田 仁、内藤 浩一

開発期間 2002～2004年度

要約

環境汚染負荷物質である窒素酸化物 (NO_x) の発生量を抑えたセメントキルン用高効率低NO_xキルンバーナの開発、ならびにこの開発の支援技術であるセメントキルンバーナの燃焼シミュレーションによるNO_x発生量解析技術の確立を目的に本技術開発に着手した。

本年度は一般的なセメントキルンをモデルとした流体および燃焼シミュレーションに改良を加え、シミュレーション結果からキルンバーナ燃焼におけるNO_x発生挙動を解析し、NO_x低減メカニズムを検討し、本開発バーナの基本コンセプトを策定した。このシミュレーション結果も踏まえ本開発バーナの設計を行い、実操業キルンでの実機試験を実施した。

1. 技術開発の目標

目標は、高品質のセメント製造、可燃性廃棄物使用による化石燃料代替を可能にするセメントキルン用高効率低NO_xバーナの開発および支援技術である熱流体シミュレーションでのNO_x解析技術の確立である。

本開発バーナの最終数値目標は下記の通りである

- ・化石燃料の熱量原単位低減：50kcal/kg-cem(約7%低減)
- ・NO_x発生量低減 : 100ppm(O₂: 10%換算)

2. 平成14年度実施内容及び結果

(1) シミュレーションによるセメントキルンにおけるバーナの燃焼解析

近年、プロセス内での流れや熱伝達を可視化する手段として、コンピュータによる数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics = CFD) の解析手法が脚光を浴びてきている。これはある条件下での流体挙動を予測するものであり、多種多様な分野で開発設計に利用されている。このCFD技術を活用し、セメントキルン内での流体、燃焼、熱伝達挙動をシミュレーションする試みは当社においてこれまでも行われており、石炭の燃焼特性等はある程度技術確立されている。

本年度は一般的なセメントキルンをモデルとした流体および燃焼シミュレーションに改良を加え、シミュレーション結果からキルンバーナ燃焼におけるNOx発生挙動を解析し、NOx低減メカニズムを検討し、高効率低NOxバーナの基本コンセプトを策定した。

一般に知られているNOx生成還元メカニズムを整理すると、NOx低減のポイントは燃焼温度の抑制および空気との混合状態の制御つまり還元領域の形成である。

図1に当社従来型3Chバーナのシミュレーション結果として得られたNOx濃度分布とNOx生成速度分布を示す。NOx生成速度は正と負の値に分け、正值は生成速度が還元速度を上回る生成領域、負値は生成速度が還元速度を下回る還元領域として示している。バーナ火炎内(L/D=0.2~4.2)にNOx濃度が希薄となる領域が存在しており、生成速度が負になる還元領域に一致している。シミュレーション結果からも、バーナ火炎内に還元領域が形成されているという裏付けが得られた。

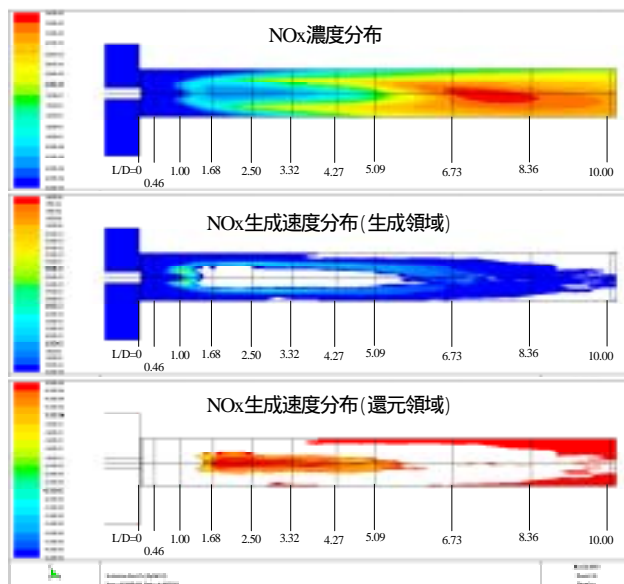


図1 . NOxシミュレーション結果

一般的に知られるNOxの生成還元メカニズムとシミュレーション結果から、セメントキルン用バーナ火炎におけるNOx生成還元の概念の検討を行った。図2にその結果を示す。セメントキルン用バーナでは旋回流により着火の安定性、保炎機能を持たせる内部循環が形成され、高速の直進流により高温の二次空気の取り込みが行われ揮発分の燃焼促進と内部循環の高温化、Volatile NOxの生成が行われる。また、火炎後方においても高速の直進流により高温の燃焼ガスを火炎内に取り込む再循環が起き、内分循環とあわせNOx還元領域が形成される。更に再循環によりCharの燃焼促進が行われる。

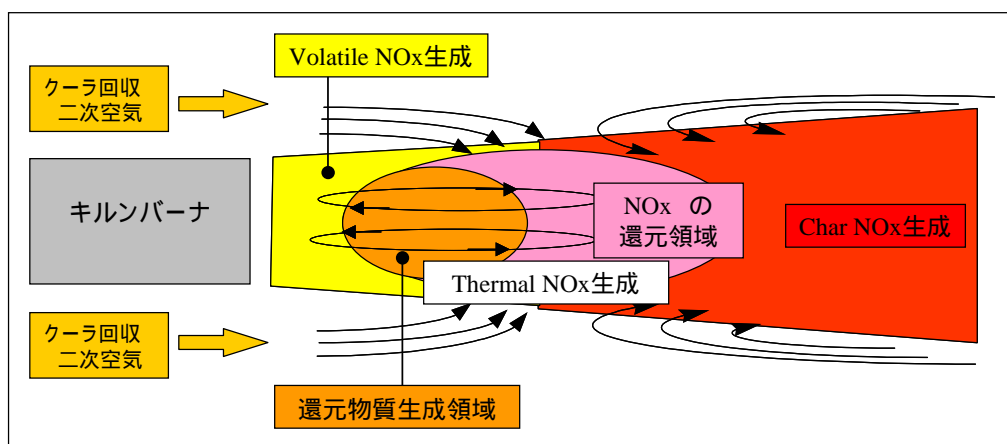


図2 . セメントキルンバーナ火炎におけるNOx生成・還元の概念

以上のことから、高効率低NOxバーナ設計の基本コンセプトのポイントを整理すると以下の通りとなる。

- (1) 高温の二次空気を火炎内に取り込み高温化することでVolatile NOxの生成と同時に還元物質の生成を促進する。
- (2) 上記の還元物質で還元領域を形成させる。
- (3) 火炎内で燃焼ガスの再循環を形成させ、生成するNOxを還元領域に取り込む。

(2) セメントキルン用高効率低NOxバーナの設計

シミュレーションによるセメントキルン内燃焼解析の結果に基づき、燃焼性、NOx低減効果进行评估した上でバーナ設計を行った。

セメントキルンは燃料の燃焼空間である一方、化学反応によって適正な水硬性鉱物を形成させるための化学反応炉であるから、必要な最高温度の確保、適切な加熱速度と冷却速度の維持が要求される。キルンバーナの性能によって品質が左右されることは言うまでもないが、キルンの安定操業、耐火レンガの寿命および廃棄物の使用量まで左右される。

セメントキルン用高効率低NOxバーナに求められる性能は、当社従来のバーナの長所でもある良好な燃焼性、コントロール性を併せ持ち、高い品質水準の維持と可燃性廃棄物の使用促進ができ、且つNOxの発生量を低減することができることである。

本開発バーナの基本構造は、当社従来のバーナの長所を維持しつつ前項で述べたNOx低減メカニズムを実現させるべく、シミュレーション結果を踏まえ検討した。

図3に実機試験に用いたキルンの既設バーナと本開発バーナの先端形

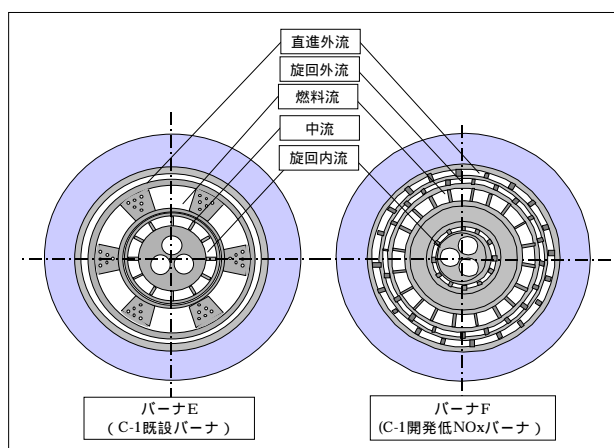


図3 . C - 1既設バーナと本開発バーナ

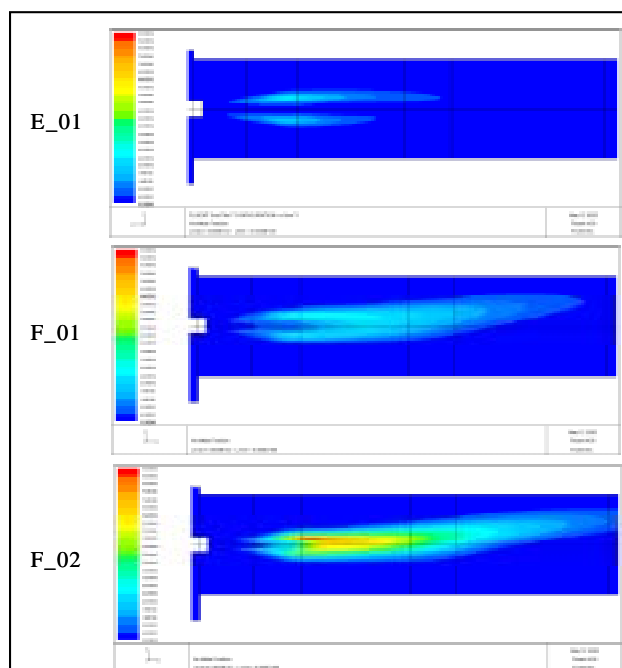


図4 . VM(揮発成分)濃度分布

状を、図4、5にシミュレーションで得られたVM(揮発成分)濃度分布、発熱量履歴を示す。

Eバーナが既設であり、本開発のFバーナはF_01が最大風量の水準、F_02が風量を下げた低NOx運転を想定した水準を示す。本開発バーナは、発熱量履歴から分かるように同等の燃焼性を保ちながら、VM濃度の濃い領域つまり還元領域が形成されている。

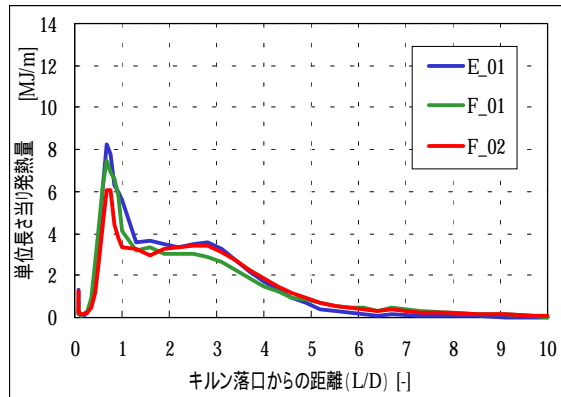


図5 . 単位長さ当りの発熱量履歴

(3) 実稼動セメントキルンでの実機試験

本開発バーナでの実機試験を行い、燃焼性、品質水準が良好な高効率の運転ができ、かつNOx低減効果があることが確認された。

表1に本試験の試験水準を、表2にクリンカ品質とキルン排ガス性状を示す。水準F-2、F-3いれにおいても燃焼性は良好で、得られたクリンカ品質は同等のレベルであった。水準F-2では安定して窯尻NOxで約100ppm、15%の低減効果が確認できた。これはEP出口NOxに換算すると約50ppmの低減にあたる。

短期間ではあるものの水準F-3では約30%の窯尻NOx低減効果が確認でき、更なるNOx低減の余地は十分あると言える。これらの結果は最終的な煙突排ガス中のNOx濃度を規制値以下に制御している脱硝剤の使用量が減少していることから明らかである。

表1 . NOx低減性能確認試験水準

	上段 下段					対理論燃焼空気量一次空気比(A0比); vol% 一次空気吐出速度; m/sec			単位燃料当たりモーメントム ¹ ; N/MW		
	旋回内流	燃料流	直進中流	直進外流	計	旋回成分	直進成分	計	旋回成分	直進成分	計
Eバーナ	1.6 150	7.0 30	6.9 100	7.1 140	19.8	1.6	6.9	7.1			
水準F-1	1.4 110	4.7 50	1.4 110	5.8 155	13.3	1.1	6.2	6.3			
水準F-2	1.2 110	3.8 40	1.2 110	5.4 155	11.6	0.9	5.4	5.5			
水準F-3	1.0 90	3.9 50	1.0 90	4.3 130	10.2	0.8	4.6	4.7			

¹ 各空気流の運動量(風量×速度; N) / バーナ供給燃料の発熱量(MW)

表2．各空 airflow 変更前後のクリンカ品質およびキルン排ガス性状¹

	クリンカ品質			バーナ性能			脱硝剤 原単位 ⁴
	水硬率 (HM)	遊離石灰 %	容重 t/m ³	窯尻 NOx ² ppm	増減率 ³	窯尻 CO %	
Eバーナ	2.14	0.2	1.14	1,026		0.06	100
水準 F-1	2.15	0.2	1.15	1,083		0	80
水準 F-2	2.14	0.2	1.13	920	15%	0	35
水準 F-3	2.13	0.3	1.15	761	30%	0	20

- 1 各データはそれぞれ日間の平均値
- 2 O₂10%換算値
- 3 NOx 増減率は水準 F-1 に対する増減率
- 4 脱硝剤原単位はブランクを 100 とした場合の数値

(4) 平成14年度の研究開発成果のまとめ

- (1) シミュレーションによるセメントキルン内燃焼解析手法を確立し、セメント用キルンバーナの基本コンセプトおよびNOx低減メカニズムを構築した。
- (2) シミュレーションによるセメントキルン内燃焼解析の結果に基づき、燃焼性、NOx低減効果を評価した上でバーナ設計を行い、シミュレーション結果に基づく最適バーナ設計が可能であると確認された。
- (3) 本開発バーナでの実機試験を行い、燃焼性、品質水準が良好な高効率の運転ができ、かつNOx低減効果があることが確認された。
- (4) 実機試験結果から、シミュレーションによるNOx解析モデルの有効性が確認された。

1. 今後の予定

今後の課題を下記に、表3に実機試験の予定を示す。

- (1) 実機におけるバーナ空 airflow 配分変更によるNOx低減効果の確認
- (2) 実機試験結果とシミュレーション結果を反映させた2号機バーナの設計
- (3) シミュレーションNOx解析モデルのセメント製造プロセスへの適用を行うための基本解析の実施

表3．試験計画予定表

開発バーナ	試験内容	試験水準	H14	H15	H16
Fバーナ (秩父工場)	燃焼性確認試験				
	NOx低減性能確認試験	空 airflow 変更			
		燃料N分変更			
		空 airflow 配分変更			
Gバーナ (秩父工場)	燃焼性確認試験				
	NOx低減性能確認試験	空 airflow 変更			
		空 airflow 配分変更			
Hバーナ (埼玉工場)	NOx低減性能確認試験	空 airflow 変更			
		空 airflow 配分変更			