NEDO FORUM
イノベーションで拓く明るい未来
－NEDO成果報告会－

社会を変えたNEDOの技術

高性能工業炉の開発

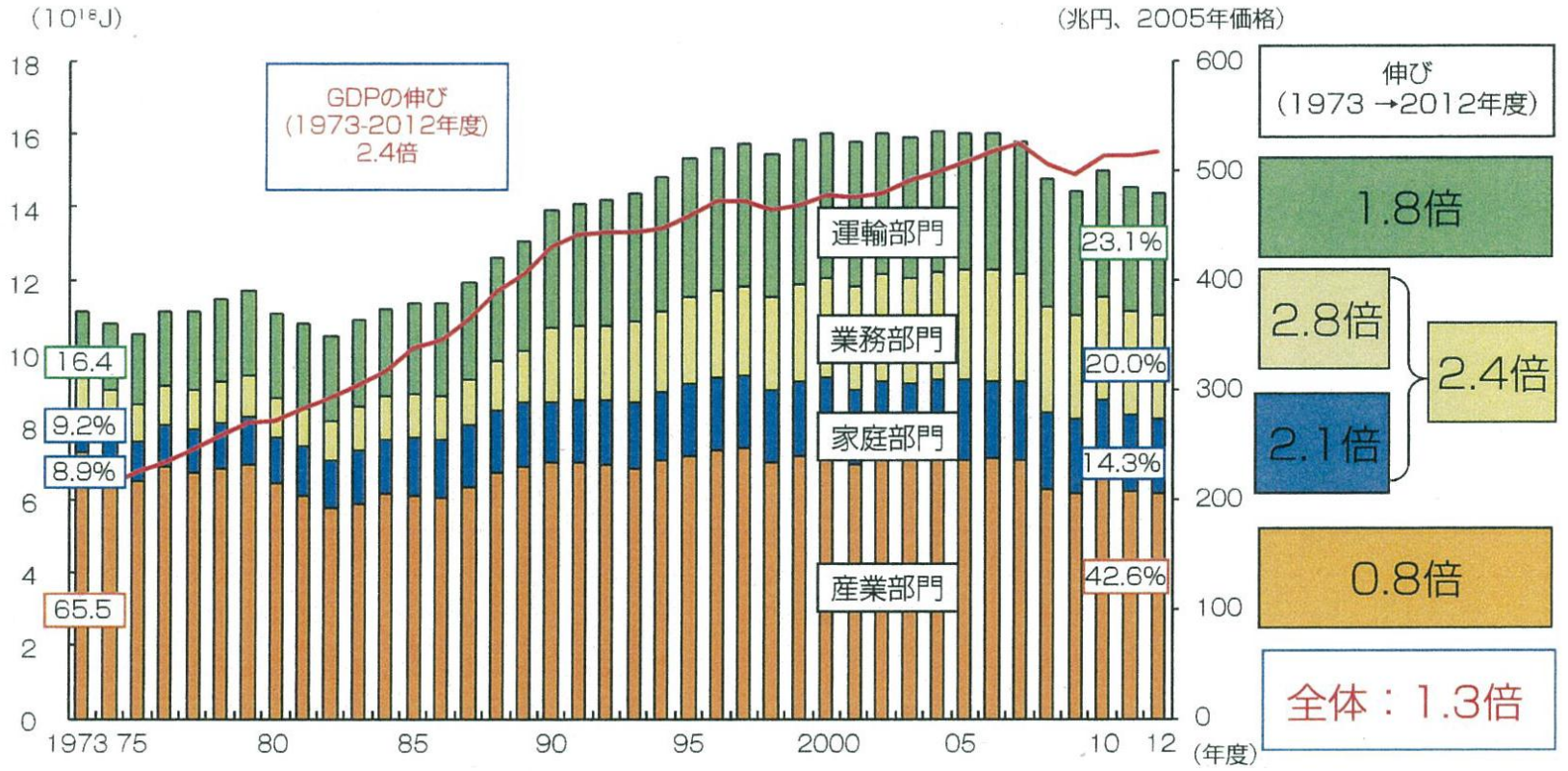
佐藤　順一
(公社) 日本工学会　会長

2015年2月12日

「高性能工業炉の開発」の概要

- 日本工業炉協会はNEDOが1993年～1999年に実施した「高性能工業炉の開発」を受託
- 会員会社を中心に13社が協力して、開発に当たり、画期的な省エネ（＞30%）と低NOx（大幅な削減）を両立させた日本発の「高温空気燃焼技術」を生み出した。
- 製品化では、1998年～2000年の3年間のフィールドテスト事業（設備費の1/3補助、167基）を経て、この技術を市場に送り出し、2005年末時点で668基、2012年末時点で1,400基を超える実績を上げている。
- この技術はその後、NEDO事業のHiCOTプロジェクトへとつながっていった。

最終エネルギー消費と実質GDPの推移（平成２４年度エネルギー白書）



（注１） J（ジュール）＝エネルギーの大きさを示す指標の一つで、1MJ＝0.0258 × 10^{-3} 原油換算kl。
（注２） 「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている[1]。
（注３） 構成比は端数処理（四捨五入）の関係で合計が100%とならないことがある。
出典： 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、内閣府「国民経済計算」、日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」を基に作成

業種別エネルギー消費量

（単位：$\times 10^{15}$J）

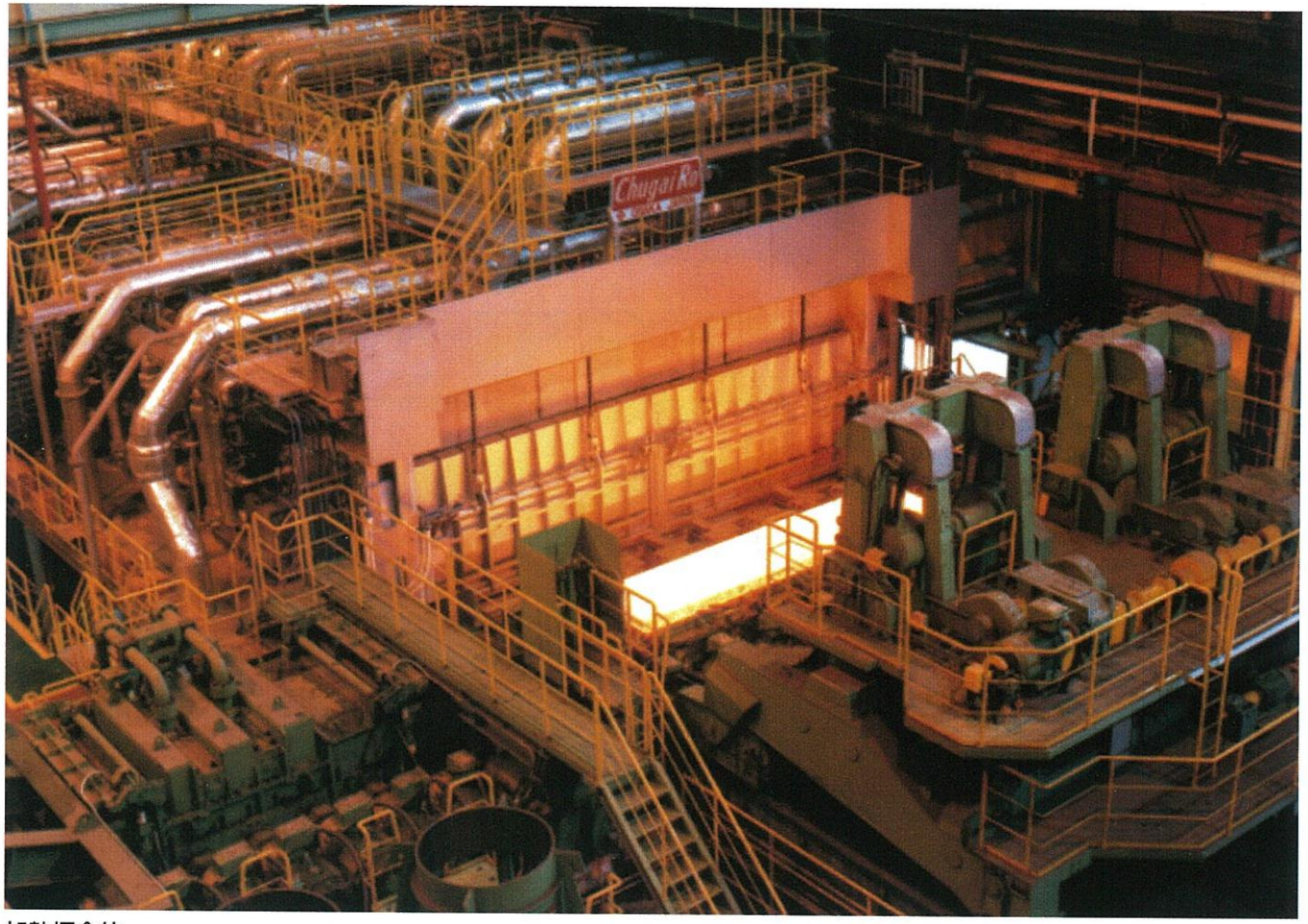
年度	素材系				非素材系	合計
	鉄　鋼	化　学	窯業土石	紙・パルプ		
73	2,281	1,730	614	414	1,391	6,431
11	1,702	2,141	311	328	1,317	5,799
比率	0.746	1.238	0.507	0.792	0.947	0.902

（出典：資源エネルギー庁 H24 エネルギー白書参考）

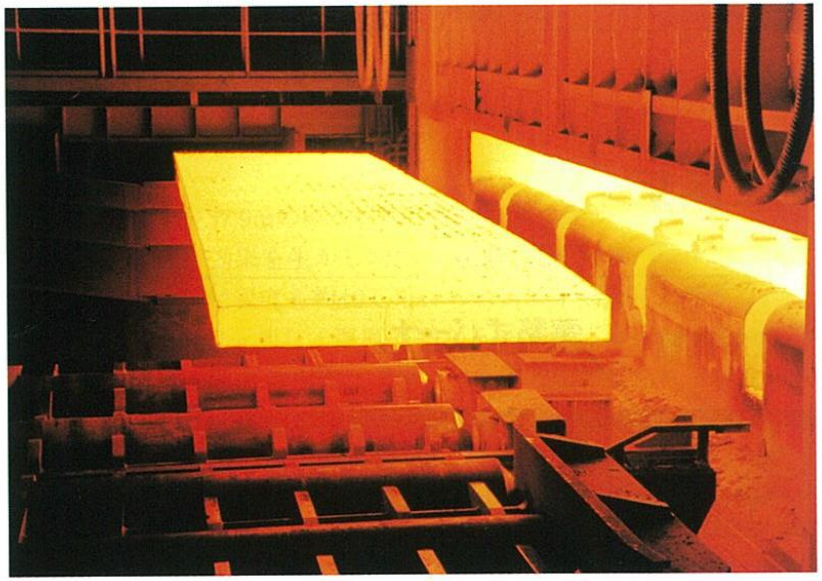
開発対象の工業炉

- 加熱炉（連続、バッチ）
- 熱処理炉（連続、バッチ）
- 非鉄金属溶解炉（連続、バッチ）
- 排ガス処理炉（連続）
- 乾燥炉
- 取鍋予熱乾燥炉
- その他

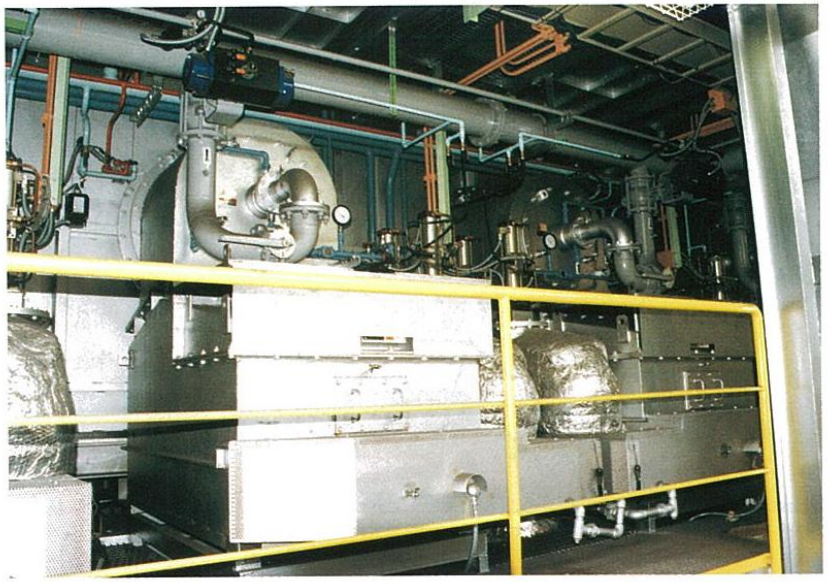
薄鋼板熱間圧延用スラブ連続加熱炉



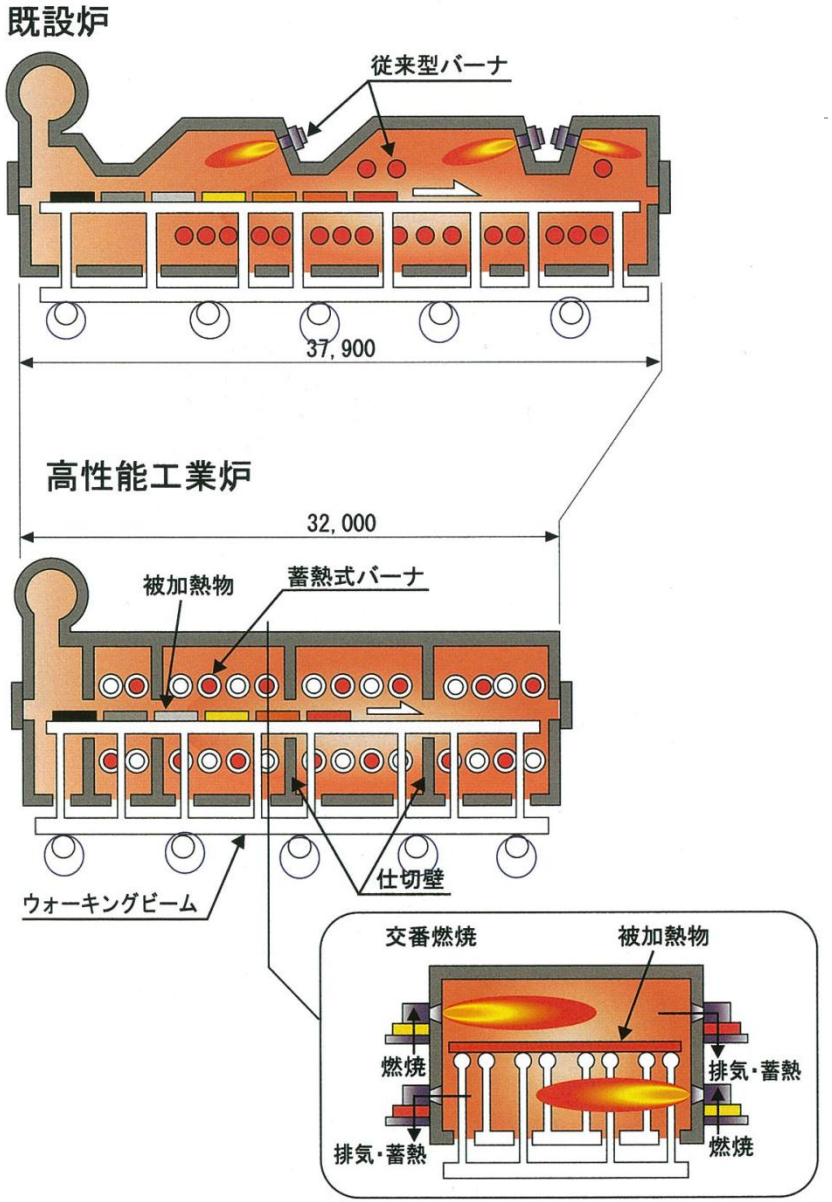
加熱炉全体



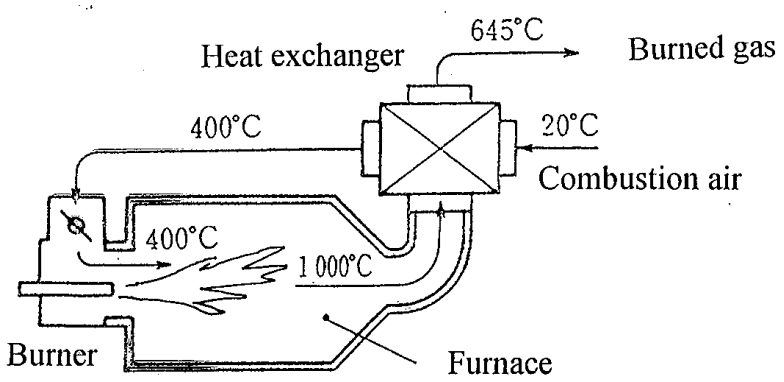
加熱炉抽出部



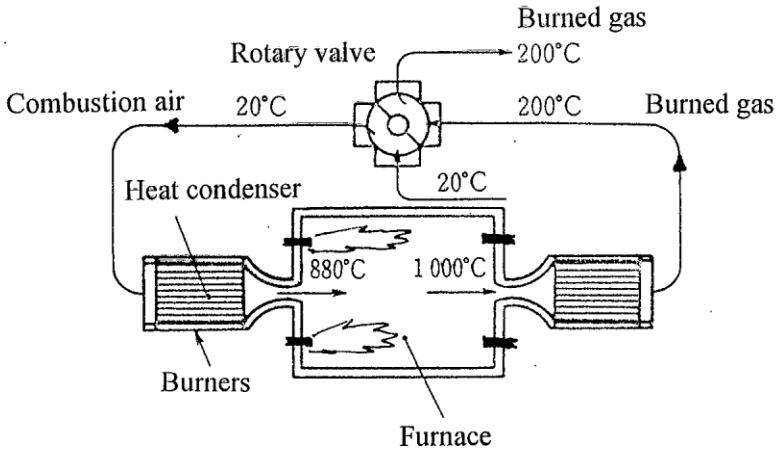
蓄熱式バーナ部


既設炉
従来型バーナ
37,900
高性能工業炉
32,000
被加熱物
蓄熱式バーナ
仕切壁
ウォーキングビーム
交番燃焼
被加熱物
燃焼
排気・蓄熱
排気・蓄熱
燃焼

従来型工業炉と高性能工業炉



従来型熱交換機による
廃熱回収を用いた燃焼装置
（従来型工業炉）



蓄熱式熱交換機による
廃熱回収を用いた燃焼装置
（高性能工業炉）

欧米の蓄熱式熱交換器を用いた燃焼技術（リジェネバーナ技術）

100年程前から、ガラス溶融炉（高温が必要）で使用されていた。高温空気による高温の火炎でガラスを溶融するため。

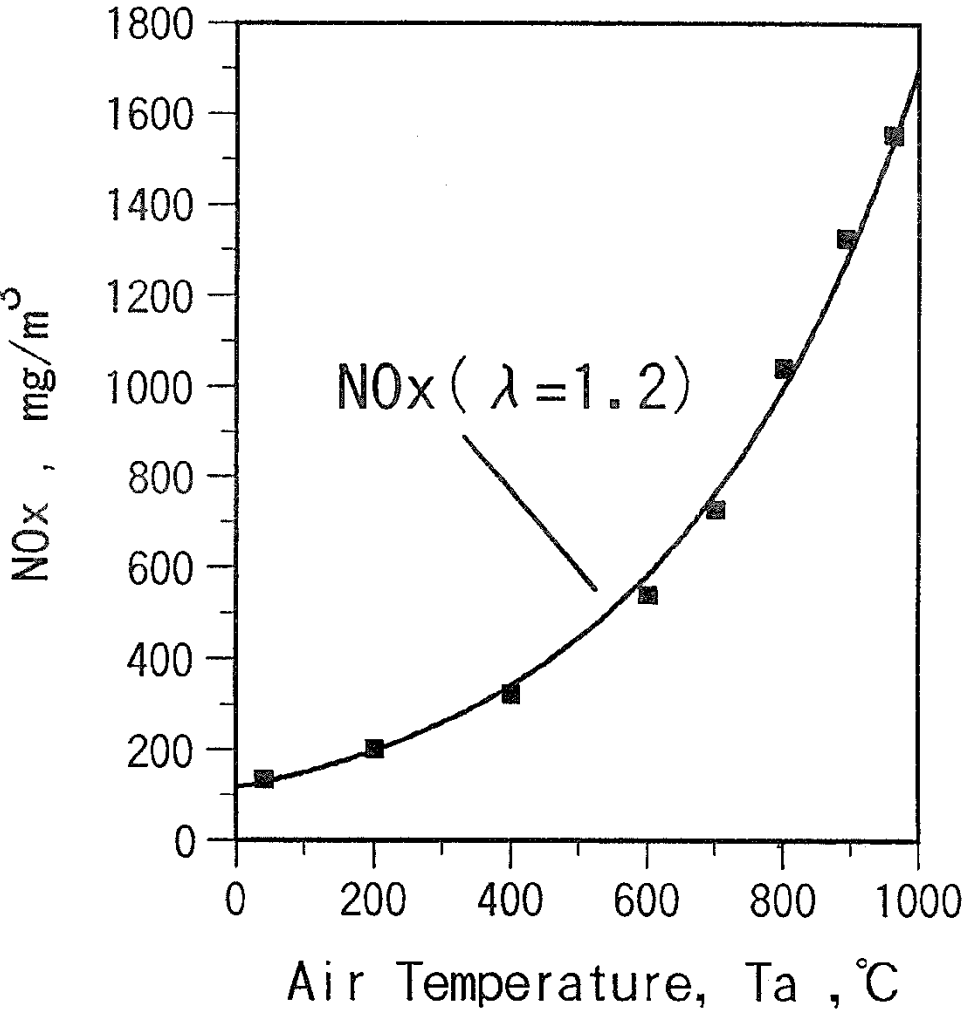
1990年頃、工業炉用としてのリジェネバーナが英国および米国のメーカーに存在した。空気予熱温度はそれほど高くなく、日本には、ほとんど導入されなかった。

蓄熱体：セラミックボール、予熱空気温度：推定500℃程度、

窒素酸化物 ： 管理基準なし

これらの工業炉用リジェネバーナは、省エネ性のみを追求したものであり、NOx値が極めて高かった。NOx排出を制御していないバーナは環境基準が厳しい日本では、導入が困難と判断されていた。

空気温度がＮＯｘ排出量に及ぼす影響



高温空気を用いた省エネと低NO_xの両立

当時、日本工業炉協会会長・㈱日本ファーネス工業（現：日本ファーネス）社長であった田中良一氏（故人）がこの技術に着目し、なんとかNOxを下げる方法がないか試行錯誤した。

燃焼テスト中に、高温の炉内に吹き込む燃料流速を極端に速くしたところ、NOxが急激に減少する現象を発見した。このことで、製品化できると確信したが、科学的な裏付けがなかった。

さらに田中氏は、セラミックハニカムを蓄熱体に用いることにより、容易に1000Kを超える高温空気を得られる技術を開発した。

「高性能工業炉の開発」プロジェクト

- 1992年、リオデジャネイロで地球環境に関する”Global Summit”が開催された。日本政府は、温暖化ガス削減を図るべく行動開始した。日本工業炉協会の田中会長と日本燃焼学会の佐藤理事が経済産業省に呼ばれ、工業炉における高温空気燃焼技術による省エネと低NOxの達成の可能性について意見を聞かれ、ナショプロの打診を受ける。

- 1993年、経済産業省／NEDOの工業炉に関するナショプロ「高性能工業炉の開発」が日本工業炉協会を中心としてスタートする。

  同時に、燃焼科学的な基盤を確立するため、NEDOの「燃焼制御基盤技術の開発」プロジェクトが日本燃焼学会を中心としてスタートする。

  この両プロジェクトが協同して高性能工業炉技術の確立を図ることになった。

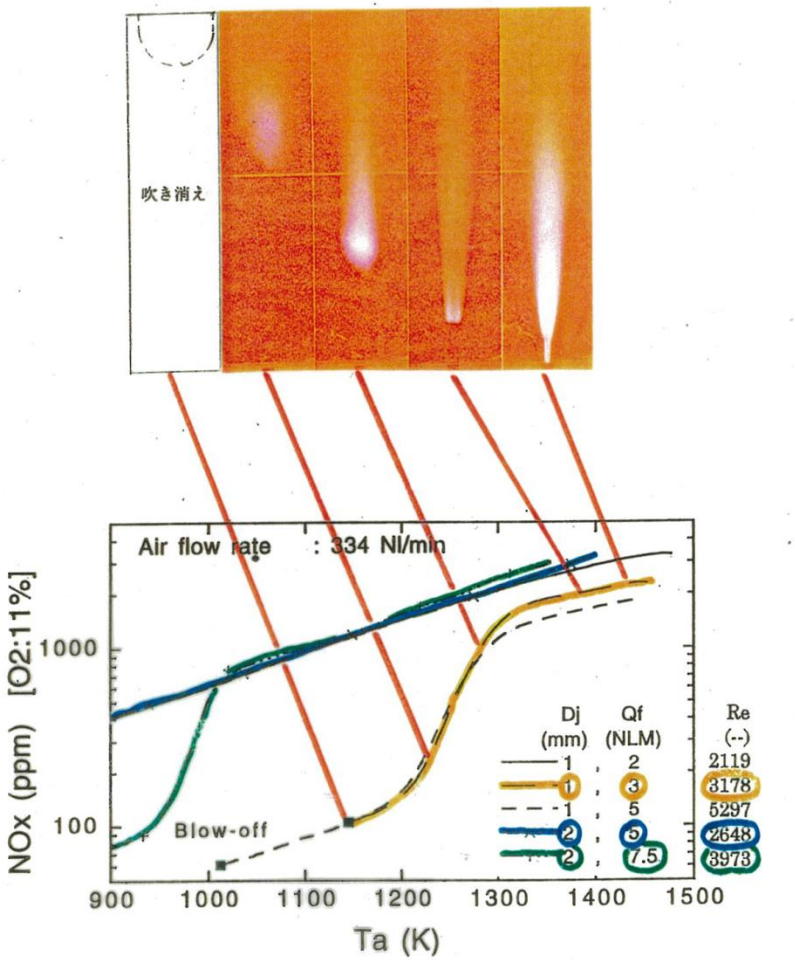
高温空気燃焼の誕生

- 基礎的な実験およびモデル工業炉を用いた実験とともに、理論的な研究も行った。その結果、空気の予熱温度が非常に高く約1000K以上の時、燃料か燃焼用空気またはその両者を高速噴射すると、火炎は通常の火炎とは異なる形態となり、NOxが大幅に低減することが証明された。

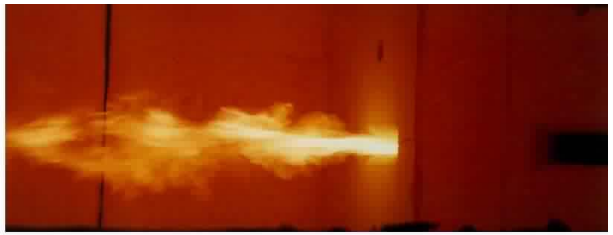
- この現象は、燃焼学的にもまったく新規のもので、日本が世界に先駆けて、燃焼メカニズムの解明を図るとともに、工業炉に適用したときの燃焼技術の確立を図ることができた。

- この燃焼を「高温空気燃焼」と名付け日本および世界に大々的に発表した。

高温空気を用いた低ＮＯｘ燃焼メカニズムの解明

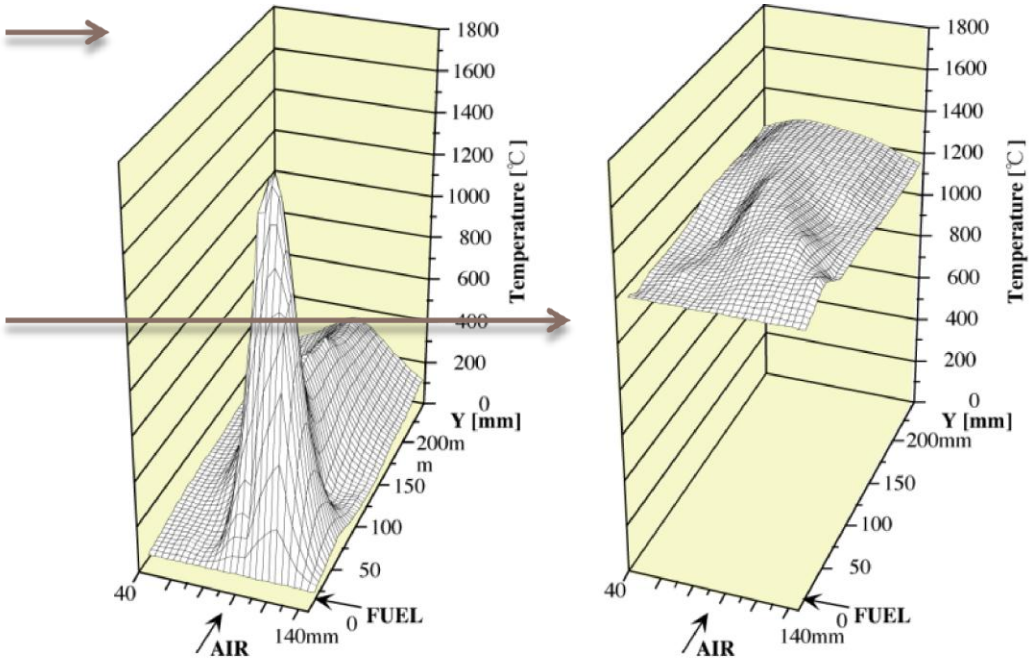


炉内での火炎形状とその温度分布



Ordinary Combustion

High Temperature Air Combustion

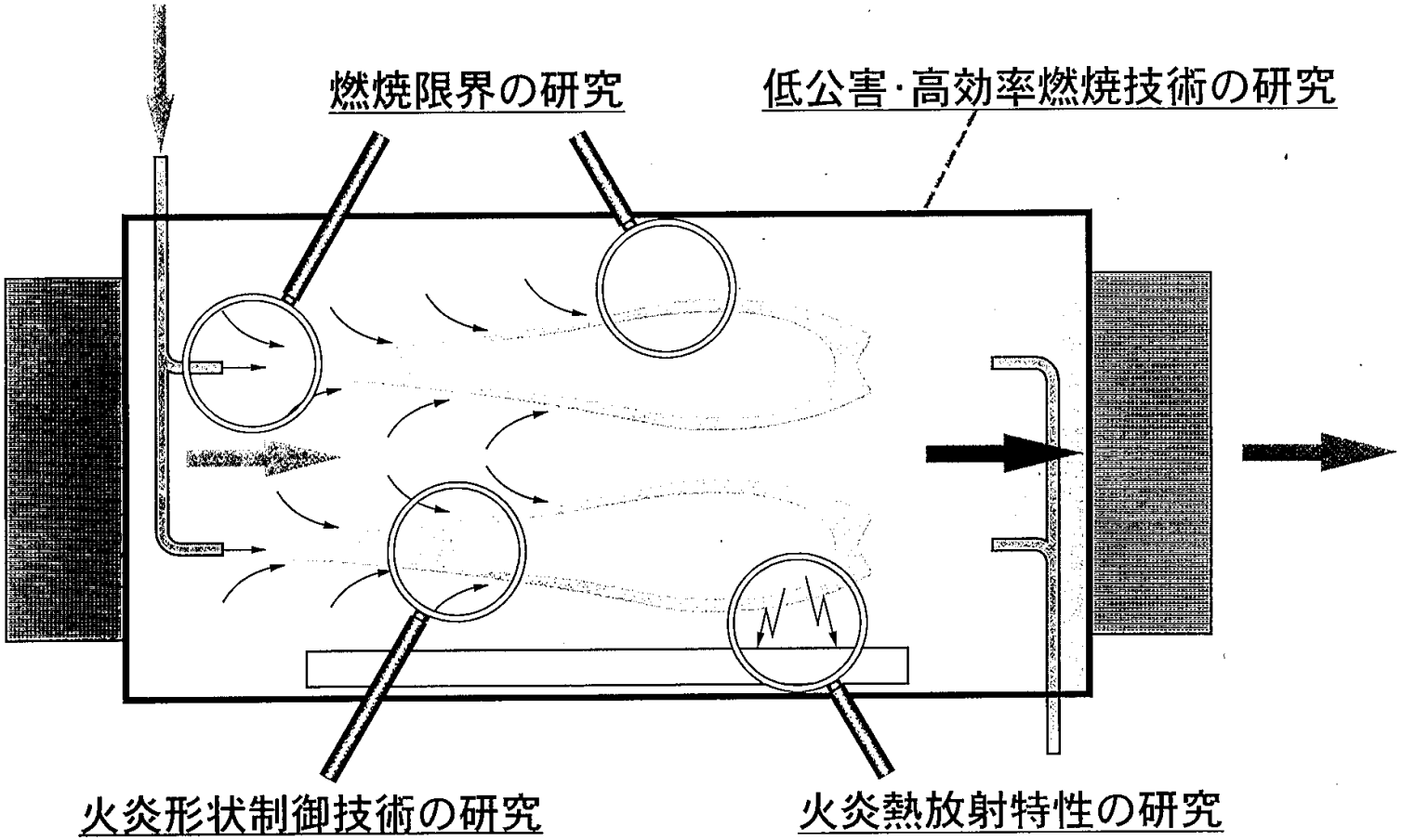


Ambient Air Combustion
20℃：21% O2

vs

Ambient Air Combustion
1200℃：4% O2

炉内での高温空気燃焼に関する研究課題



経産省、NEDO、日本工業炉協会、日本燃焼学会による産官学の連携

・試行錯誤の実験のみで技術開発を行うことは効率が悪いだけでなく、多くの技術的見落とし、技術的間違いをまねく。

・技術を完成させるには、技術に対する確かな科学的裏付けが必要である。

・経産省・NEDOが高性能工業炉の開発（工業炉協会）と燃焼基盤研究（燃焼学会）の2つのプロジェクトを並行して立ち上げ、その両者の連携を図ったことが、このプロジェクトの成功につながった。

・この開発は、経産省、NEDO、日本工業炉協会、日本燃焼学会の強い絆によって達成された。

ＮＥＤＯの役割

企業が持続的に成長していくためには、
科学技術イノベーションが必要
― 科学の成果を製品技術に取り入れられるか ―

・科学を理解していない製品開発技術者は、
　科学の成果を有効に使うことができない。

・製品を理解していない科学者は、製品開発
　活動に有用な成果を作り出すことができない。

経産省・NEDOが産学を結びつけ、その産学が協同して研究開発を行ったことにより、高性能工業炉技術を世界で初めて完成させることができた。

NEDO事業の「高性能工業炉の開発」と「フィールドテスト事業」の成功

1）高性能工業炉の開発は国の100%補助で1993年から7年間実施し、1999年に完了。省エネ30%以上、大幅なNOx低減を可能とする技術を確立した。

（開発資金が少ない工業炉協会会員会社では、これほどの大プロジェクトは国の補助でなしでは出来なかった。）

2）研究開発完了1年前にフィールドテスト事業（事業費の1/3補助）を遂行。その結果、3年間で167件、事業規模267億円の実績を上げることができた。日本工業炉協会の全面的な支援。

（研究開発段階で成功しても、実機化にスムーズに移行することは稀である。NEDOのフィールドテスト事業の3年間での実績が、技術のさらなる確立およびその後の普及に大きく貢献した。）

海外展開

- ベトナム、タイ、インドネシア、マレーシアにおけるODA普及事業，高性能工業炉モデル事業、インドにおける調査事業がNEDO，経産省、環境省のご支援のもと行われている。

- 高性能工業炉の海外普及をも念頭に置き工業炉協会がISO/TC244を立ち上げ工業炉に係る国際標準を作成している（幹事国、議長国　日本）。

- 省エネルギー等国際標準化・普及事業（経産省　日本工業炉協会）。 2014年から3ヶ年の予定で高性能工業炉の標準の普及を東南アジアではかるため、経産省から受託し活動を行っている。

まとめ

・高性能工業炉は産官学が協力して成功させた事例の一つである。
・高性能工業炉は2014年末までに、日本全国で1,400基（日本工業炉協会集計）を超えた。
・本研究開発プロジェクトにより、日本の工業炉メーカーの実力が向上するともに、日本の燃焼研究の実力も向上した。

＜成功に導いた要因＞

① 先見性、強いリーダーシップ
② 技術に対する確かな科学的裏付け（産学の協業）
③ 一企業の独占でなく、日本企業連合としての成果普及活動
④ 市場ニーズ、普及のタイミング
⑤ 経産省、NEDO、日本工業炉協会、日本燃焼学会の関係者の実力・人柄を含む人の輪に恵まれた信頼できるチーム