

自動二輪車用NO_x低減排出装置の開発

宮川 和幸・萩原 茂・阿部 治・長井 一郎・梅山 規男¹・木羽 信敏²・中村 紘³・
安藤 孝³・秋山 信³・清水 哲也³・田中 康仁⁴・宗田 義孝⁴・北野 晋吾⁴

Development of Device that Decreases Oxide of Nitrogen for Motorcycle

Wako MIYAGAWA, Shigeru HAGIHARA, Osamu ABE, Ichiro NAGAI¹, Norio UMEYAMA¹, Nobutoshi KIBA²

Hiroshi NAKAMURA³, Takashi ANDO³, Shin AKIYAMA³, Tetsuya SHIMUZU³

Yasuhito TANAKA⁴, Yoshitaka SODA⁴ and Shingo KITANO⁴

要 約

Sr₂RuO₄ (SRO) は酸素雰囲気中で最高の融点を持つ導電性酸化物であり、還元剤を用いずにNO_xが除去可能である。当センターは、SROを用いた自動二輪車用NO_x除去装置を開発するため、排気ガス温度と装置内部の温度分布に関するシミュレーションを行い、分解に必要な加熱量について検討した。また、自動二輪車の走行状態とそのときの排気ガス温度を測定可能なシステムの構築を行った。

1. 緒 言

現在、国内の自動二輪車の登録台数は328万台（H16年11月現在）であり、大型スクーターの人気などから今後さらなる登録数の増加が見込まれている。現在、各分野で環境負荷の低減に関する要求は大きく、自動二輪車に関しても平成10年から排出ガス規制が導入されたが、中央環境審議会から平成19年までに更に厳しい許容限度設定目標値の達成が答申されたことから、自動二輪車用NO_x低減排出装置に必要性はますます高まってきている。これに加えて、東南アジア等においても将来的に二輪車に対する排気ガス規制が実施された場合、高性能な自動二輪車用NO_x低減排出装置に対する需要は更に拡大すると考えられる。

従来NO_xの除去には、三元触媒を用いて排気ガス中の未燃焼の炭化水素や一酸化炭素を還元剤として、エンジン内の高温燃焼によりNO_xを窒素まで還元する方法が広く利用されてきた。しかしながら、この手法では排気ガス中に一定量以上の酸素が存在すると性能が低下するという欠点があった。また、近年燃費改善のため採用が増えつつある希薄燃焼式ガソリンエンジンに対しては、還元に必要な炭化水素が完全燃焼されてしまうため、十分なNO_xの分解が行われない。

現在、NOをいったん硝酸として補足し、濃空燃比運転時に燃料ガスをフラッシュし還元浄化する「NO_x吸蔵選

元型三元触媒」が提案されているが、燃費改善のためのエンジンであるにもかかわらず、NO還元のために燃料を使用しなければならないという欠点がある。従来四輪自動車だけに搭載されていた希薄燃焼式ガソリンエンジンであるが、平成16年7月にヤマハ発動機（株）から、希薄燃焼を行う自動二輪車が発表された。今後自動二輪車においても希薄燃料式ガソリンエンジンを搭載する車種が増加してくると考えられる。

これに対して、（独）産総研が特許申請中であるSr₂RuO₄ (SRO) は酸素雰囲気中で最高の融点を持つ導電性酸化物であり、現在還元剤を使用せず、窒素希釈したNO (400~500ppm) を約700℃で100%除去することができる。この特性を利用すれば、希薄燃焼ガソリンエンジンにおいても余分な燃料を消費することなくNO_xの除去することが可能になる。そこで本研究では、SROを用いることで、NO_xの直接分解を可能とする全く新しい自動二輪車用NO_x低減排出装置の開発を目的とした。

なお、本研究は平成17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業に採択されたものであり、本報告はその一部である。

¹独立行政法人産業技術総合研究所

²国立大学法人山梨大学

³（株）ミラプロ

⁴（株）エスエフシー

2. 実験および解析方法

2-1 排気温度収集システムの構築

2-1-1 目的

NO_x低減排出装置を設計する際、装置に入る排気ガスの温度および装置内部の温度を把握することは本装置のNO_x除去性能を向上させるために必須である。通常、温度の測定・収集には熱電対およびデータロガーを用いる場合が多く、測定対象が静止している場合についてはその測定手法は確立されているといえる。また、回転体のように熱電対を接触させることが困難な場合は放射温度計を用いて非接触での測定を行う方法が用いられることが多い。しかしながら、本研究開発において測定対象である排気ガス温度は速度、勾配など自動二輪車の走行状態によって影響を受けることが予想され、走行状態とそのときの温度を関連づけて記録することが必要となる。そこで、電源を有しない移動体の内部温度測定と、その測定時にどのような走行状態であったかを記録することが可能となるシステムを構築し、NO_x低減排出装置の設計に必要な情報を得ることを目的とした。

2-1-2 システムの構築

以下にシステムに要求される仕様について示す。

- ・AC電源(100V)が供給できない環境において、3時間程度データが収集可能であること
- ・自動二輪車の移動情報が記録できること
- ・複数(5,6か所程度)の温度が同時に測定、記録可能であること
- ・小型、軽量であること

以上をふまえて、温度測定と移動情報測定に関して機器を選定し、測定を行った。

その結果、温度測定には、データロガーとしてNR-1000(株式会社キーエンス)、シーズ型熱電対(K型)を用いた。NR-1000は熱電対を直接接続し、16点まで同時に温度測定が可能であり、コンパクトフラッシュを用いることにより記憶領域を32Mとすることが可能となる。また、専用NiMH2次電池パックを用いることにより、12時間程度の連続使用が可能となる。

移動情報測定にはハンディ型GPSのGPSMAP60CS日本語版(株式会社いいねっ)を用いた。データロガーおよびハンディ型GPSを図1に示す。

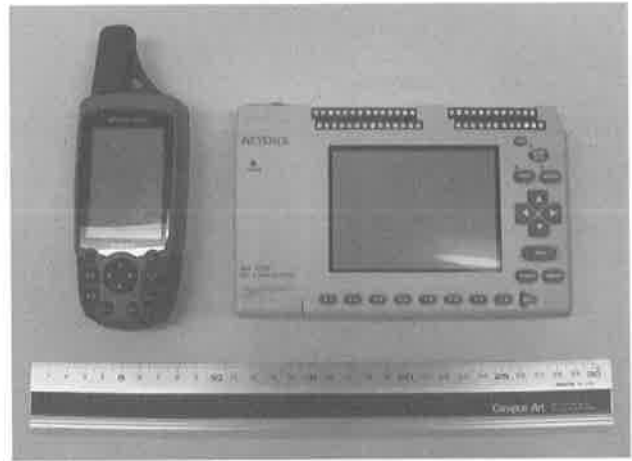


図1 データロガーおよびハンディ型GPS

2-2 低減装置内の流体解析

2-2-1 目的

SROがNO_xを分解可能な温度域は700℃以上であるが、排気ガス温度がそれ以下である場合、ヒーター等による加熱が必要となることが考えられる。また、内部形状によっては排気ガスの流れを妨げ、出力の低下を招く事態もあり得る。そこで、装置内部でNO_xを分解可能な領域を十分に確保することを目的として、装置内部の流体解析を行った。

2-2-2 低減装置の形状

低減装置各部の形状を次のようにモデル化した。解析モデルは長軸回りに1/10の領域(36[deg]部分)のみをモデル化し、3次元解析を行った。以下にその概要を示す。

○吸入部と排出部

内径23mm、外形28mmの円筒形状

○除去部

内径85mm、外形90mmの円筒形状

除去部内は径の異なる円筒を重ねて図2に示す5層の構造になっている。空気の流通路は、断面積を等しくして、触媒に接する排ガス量を均一になるように工夫した。最内殻の円筒の直径比を1とした場合、内側から外側へ

向かって、各円筒の直径比は、 $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : 2 : \sqrt{5}$ となるように設計した。

○加熱部

中心部に直径3mm、高さ5mmの円柱状のヒータを設置し、その周囲にも、厚さ2mm、高さ5mmのリング状のヒータを2mmの間隔を空けて、5本分を設置した。さらに、排気方向に5mm離れた場所にも厚さ2mm、高さ5mmのリング状のヒータを2mm間隔で、3本を設置した。ヒーターの設置状況は、図2中では、加熱部として示している。加熱部全体の体積は $4115.5 \times 10^{-9} [\text{m}^3]$ である。

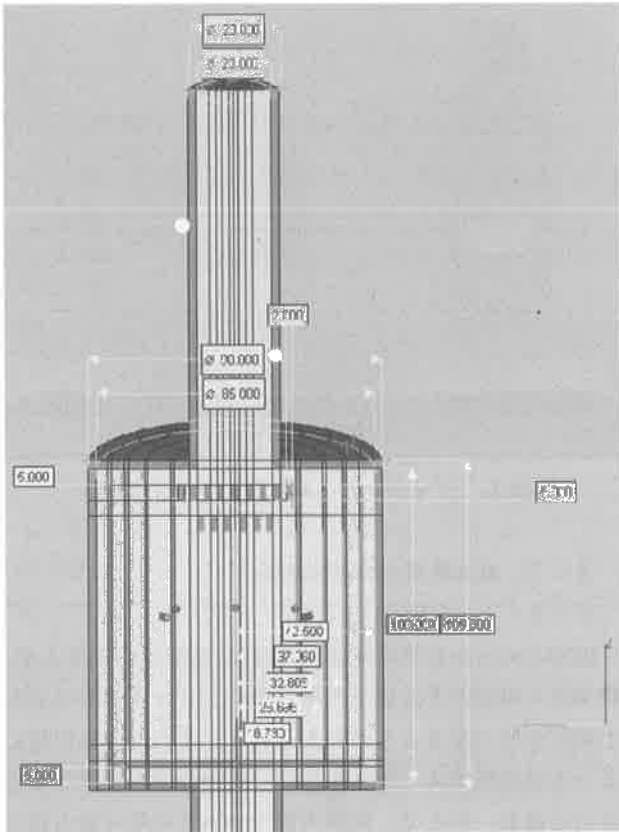


図2 解析モデル形状 (図中の数字の単位はmm)

2-2-3 流体解析の境界条件

低減装置内に流入する空気の流入速度や温度, 流出時の圧力, 装置の材質などについての境界条件を次のように定めた。

○流入速度

エンジンは, 市販のスーパーカブ50を使用したと想定した。エンジンの排気量は, 49cc, 最高出力時のエンジン回転数は, 7,000rpmの4サイクルエンジンである。流入速度はスロットルの開閉状態により以下のようにした。

(アイドリング時)

$$49[\text{cc}] \times (800[\text{rpm}] \div 2) \div 60[\text{sec}] \times 0.1[\text{スロットル開口率}] = 32.67[\text{cc/sec}] = 3.267 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{sec}]$$

解析モデルの流入口は直径23mmであり, その断面積で割ると,

$$3.267 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{sec}] \div ((11.5 \times 10^{-3})^2 \times \pi) [\text{m}^2] = 7.867 \times 10^{-2} [\text{m/sec}]$$

よって, アイドリング時の流入口には7.867₁₀⁻²m/secの流入速度を設定する。

(スロットル半開時)

$$49[\text{cc}] \times (4000[\text{rpm}] \div 2) \div 60[\text{sec}] \times 0.5[\text{スロットル開口率}] = 816.67 [\text{cc/sec}] = 8.167 \times 10^{-4} [\text{m}^3/\text{sec}]$$

解析モデルの流入口は直径23mmであり, その断面積で割ると,

$$8.167 \times 10^{-4} [\text{m}^3/\text{sec}] \div ((11.5 \times 10^{-3})^2 \times \pi) [\text{m}^2] = 1.9667$$

[m/sec]

よって, スロットル半開時の流入口には1.9667m/secの流入速度を設定する。

(スロットル全開時)

$$49[\text{cc}] \times (7000[\text{rpm}] \div 2) \div 60[\text{sec}] \times 1.0[\text{スロットル開口率}] = 2858.33 [\text{cc/sec}] = 2.858 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{sec}]$$

解析モデルの流入口は直径23mmであり, その断面積で割ると,

$$2.858 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{sec}] \div ((11.5 \times 10^{-3})^2 \times \pi) [\text{m}^2] = 6.882 [\text{m/sec}]$$

よって, スロットル全開時の流入口には6.882m/secの流入速度を設定する。

○流出時の圧力について

流出口は大気開放とし, 外気温度は25℃とした。

○装置の材質について

装置の筐体は, 鉄の材質に設定した。最外壁は, 断熱材による完全な断熱効果が得られると想定し, 境界面では, 熱の流出がないものと仮定した。

以上の条件を設定し, 解析を実施した。解析には ANSYS CFX ((株) ANSYS) を用いた。

3. 結果および考察

3-1 排気温度および移動情報の収集

本システムにより, 得られた情報の例を図3に示す。

時刻	緯度	経度	高度	速度	方向	燃料消費率	水温	油温	油圧	電圧	電流	回転数	トルク	出力	燃費
00:00:00	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:01	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:02	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:03	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:04	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:05	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:06	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:07	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:08	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:09	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:10	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:11	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:12	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:13	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:14	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:15	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:16	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:17	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:18	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:19	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00:20	35.6812	139.7613	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

図3 ハンディGPS出力データ例

図3で示したデータを利用して, 移動経路, 高低の変化を図示することを目的として, 可視マップ作成ソフトウェアであるカシミール3D(作:杉本智彦)を用いた。以下にカシミール3Dを用いて移動情報を表示させた例を示す。

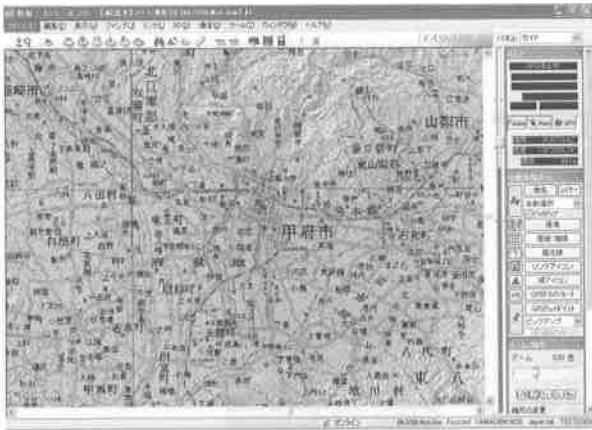


図4 移動軌跡表示例 (地図上)

図5, 6に示すとおり, 速度情報, 高低変化情報ともに時刻に対して表示している. そこで, 温度測定にあたりNR-1000の時刻とGPSの時刻の同期をとることにより, 温度-速度あるいは温度-高度の情報を得ることが可能になった.

以下に本システムを用いて排気ガス温度を測定した例を示す.

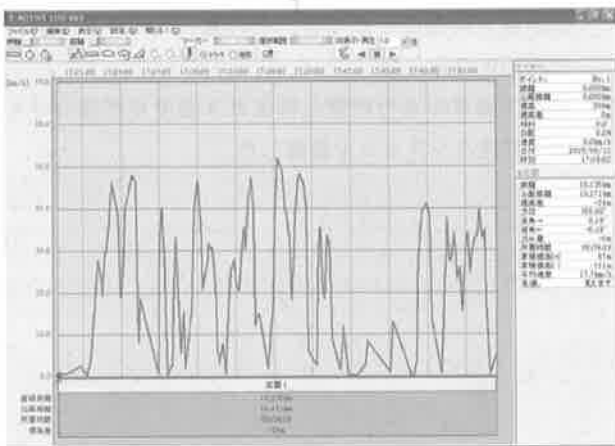


図5 移動軌跡表示例 (時間-速度)



図6 移動軌跡表示例 (時間-高度)

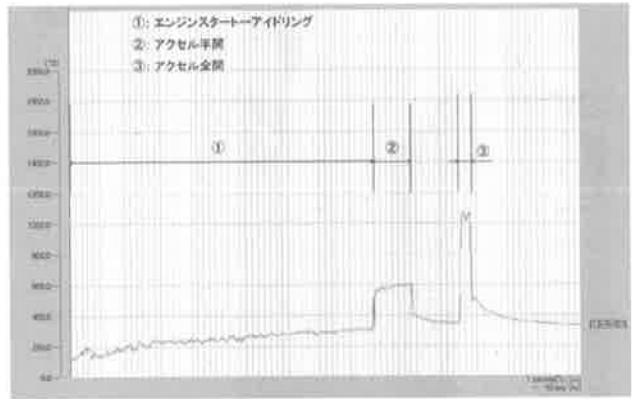


図7 温度測定結果

3-2 低減排出装置内の解析

流入する空気の温度は, 図7の結果から, アイドリング時で100℃, スロットル半開で550℃, スロットル全開では, 1,000℃程度であることが判明した. そこで暖機運転などの状態も想定し, 200℃, 500℃での解析も実施した. 以下に解析結果を示す.

流入空気の温度200℃, スロットル全開時での結果を図9に示す. 除去部内の温度が, およそ700℃以上となるようにヒーター加熱した場合での温度分布を示している.

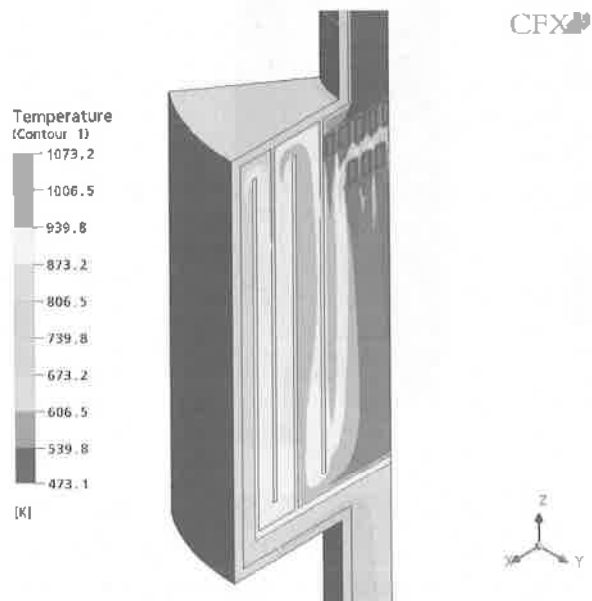


図9 温度分布表示 (流入空気温度 200℃)

この状態では, ヒーターの発熱量は, 1,029Wである.

流入空気の温度を500℃にした場合の温度分布結果を図10に示す. この状態では, ヒーターの発熱量は, 246.9Wであった.

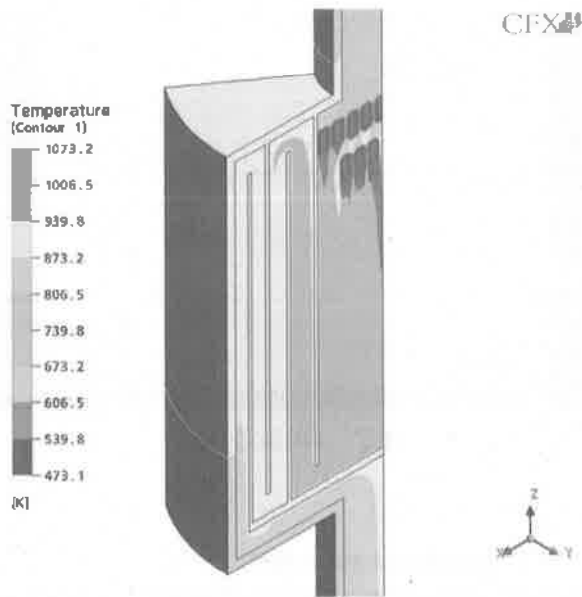


図10 温度分布表示 (流入空気温度 500 °C)

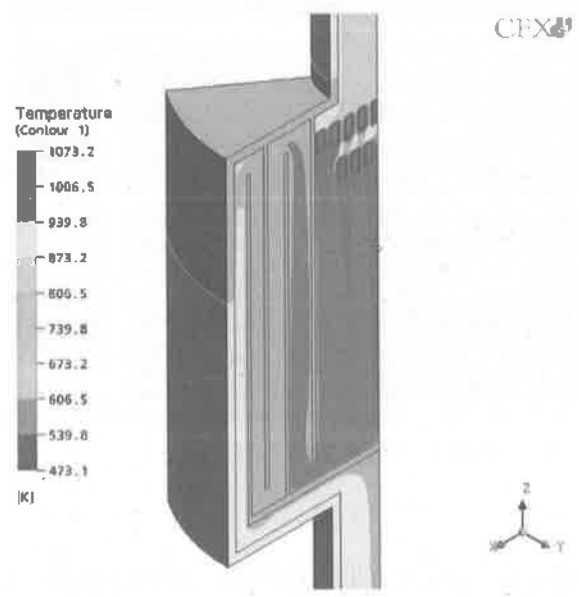


図12 温度分布表示 (流入空気温度 550 °C)

暖機運転中のアイドリング状態を想定した場合の温度分布を図11に示す。ヒーター発熱量は、50Wである。

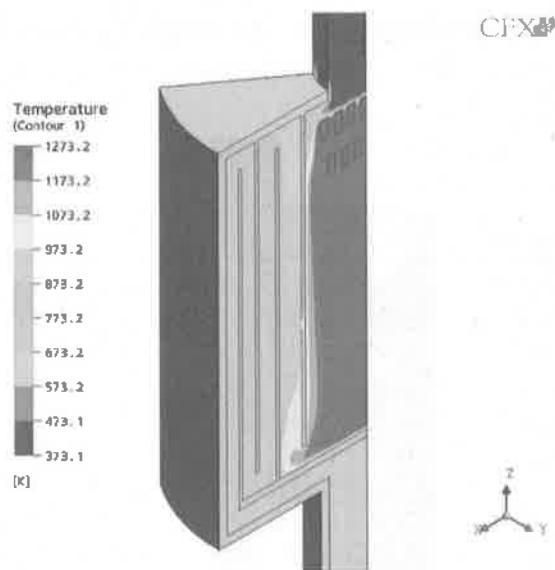


図11 温度分布表示 (流入空気温度 100 °C)

走行状態に近いスロットル半開状態の温度分布を図12に示す。ヒーターの発熱量は、170Wであった。実際の走行では、加速時の高温排気ガスの影響で、ヒーターの発熱量を抑えられることが考えられる。また、排気熱を蓄熱することによって、さらに、少ない発熱量で済ませられることが期待できる。

4. 結 言

- 1) 排気ガス温度と内部温度分布の関係を把握することを目的として、有限要素法を用いて解析を行った。その結果、NOx分解可能温度を維持するために必要な熱量を得ることができ、その量はアイドリング時で約50Wであった。
- 2) 自動二輪車の走行状態と排気ガス温度を関連づけて測定可能なシステムを構築した。