

アスファルト固化処理施設
セル換気系排気ダクトの圧力評価

1997年9月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 (Tokai Works)

技術開発推進部 技術管理室

(Technology Management Section)

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel
Development Corporation 4-33, Muramatu Ooaza, Tokai, Naka-gun, Ibaraki,
319-11, Japan)

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation) 1997

アスファルト固化処理施設 セル換気系排気ダクトの圧力評価

菊地直樹*
飯村理人*
高橋有紀*
大森栄一*
山内孝道**

要旨

本報告書は、アスファルト固化処理施設で発生した火災・爆発事故の原因究明に係わる各種解析評価作業の一環として実施したセル換気系排気ダクトにおける圧力伝播解析の結果と、本解析に使用する換気系爆発解析コード EVENT84 による解析の信頼性の確認を目的として実施した検証計算の結果をまとめたものである。

検証計算では、原研で実施したセル換気系実証試験の試験データと EVENT84 による解析結果との比較・検証を実施し、安全側の解析結果が得られたことで EVENT84 の信頼性を確認した。

アスファルト固化処理施設のセル換気系排気ダクトにおける圧力伝播解析では、事故時の爆発規模の推定を目的として、当該ダクトの破損状況とダクト各部の圧力解析結果の照合を実施した。その結果、ダクトの破損状況を定量的に説明するには至らなかったが、一番損傷の大きいダクト下流側での局所的な圧力上昇は起こり得ることが分かった。

*) 再処理工場 工務部 技術課

**) アスファルト固化処理施設 火災・爆発事故原因究明・再発防止対策班

Pressure Analysis in Ventilation Ducts at Bituminization Facility

Naoki Kikuchi*
Masato Iimura*
Yuki Takahashi*
Eiichi Omori*
Takamichi Yamanouchi**

Abstract

Pressure analysis in cell ventilation ducts at bituminization facility where the fire and explosion accident occurred was carried out. This report also describes the results of benchmark calculations for computer code EVENT84 which was used for the accident analysis.

The benchmark calculations were performed by comparing the analytical results by EVENT84 code with the experimental data of safety demonstration tests of ventilation system which were carried out by JAERI. We confirmed the applicability of EVENT84 code with the conservative results.

The pressure analysis in cell ventilation ducts at bituminization facility were performed by comparing the analytical results of duct pressure by EVENT84 code with the yield stress of destroyed ducts by explosion, in order to estimate the scale of explosion. As a result, we could not explain the damage of ducts quantitatively, but we found the local pressure peaks analytically in downstream ducts where the serious damages were observed.

-
- *) Maintenance Section, Technical Service Division, Tokai Reprocessing Plant.
 - **) Investigation Group for Bituminization Facility Accident.

アスファルト固化処理施設

セル換気系排気ダクトの圧力評価

目 次

1. まえがき	1
2. 解析コード EVENT84 について	2
3. 解析コード EVENT84 の検証計算	6
3.1. 概要	6
3.2. セル換気系実証試験の概要	6
3.3. セル換気系実証試験装置のモデル化	7
3.4. 解析結果及び考察	12
3.5. 解析モデルの一部変更及びその解析結果	28
3.6. まとめ	42
4. セル換気系排気ダクトの圧力評価	43
4.1. 概要	43
4.2. セル換気系の概要及び主な被害状況	43
4.3. 解析モデルの概要	45
4.4. 解析結果	47
4.5. まとめ	80
5. あとがき	81
<参考文献>	82

別添-1 セル換気系実証試験装置の主な仕様

別添-2 セル換気系実証試験装置 EVENT84 解析用入力データ

別添-3 アスファルト固化処理施設 セル換気系排気ダクト EVENT84 解析用
入力データ

別添-4 ダクトの破損に必要な圧力の評価

別添-5 閉閉空間におけるガス爆発時の開口発生後の圧力挙動

1. まえがき

平成9年3月11日に発生したアスファルト固化処理施設の火災・爆発事故に係る各種解析評価を、以下の目的のもとに計画・実施している。

- ・ 施設の被害状況や事故の進展などを解析的に評価することを通じて、その解析過程又は結果において事故原因究明に有用な知見が得られる可能性に期待する。
- ・ 火災・爆発事故例の一つとして、各研究分野における各種解析に必要なデータ等を提供できうるよう、独自に解析を実施することを通じたデータ整理を行う。

これらのうち、爆発に係る解析評価では、爆発に寄与した物質やその量が確定していないため、施設内の被害状況から爆発エネルギーを各種の方法により推定する方針としている。

本評価では、施設内の被害状況のうち、セル換気系排気ダクトに一部破壊(ダクトの膨らみやフランジ継手部の外れ)が確認されていることから、これらダクトの破損状況とダクト各部の圧力解析結果を照合し、事故時の爆発規模(エネルギー)を推定することを目的に、当該換気系における圧力伝播の解析を換気系爆発解析コードEVENT84を使用して実施した。

また、本解析に先立ち、今回使用する解析コードEVENT84による解析の信頼性の確認を目的として、原研で実施したセル換気系実証試験の試験データと本コードによる解析結果を比較・検証するベンチマーク計算を実施したので、その結果についても併せて報告する。

2. 解析コード EVENT84 について

EVENT84¹⁾は、核燃料施設等における建屋換気系流路内での爆発の効果を解析するコードであり、米国 Los Alamos 研究所で開発されたものである。本コードでは、ダクト、ダンパー、プロア、フィルタ等の抵抗要素を表現するブランチと、ブランチの接続点であり、部屋、グローブボックス等の体積要素を表現するノードを用いて、換気系を一次元流路のネットワークとして任意にモデル化できる。

流動解析では基礎式として、以下に示す各ノードにおける質量及びエネルギーの保存式と、各ブランチにおける運動量の保存式を適用し、これらの式を基に、各ノードでの圧力、温度、及び、各ブランチでの流量、差圧が計算される。

- ・ 質量保存式 $V \frac{d\rho}{dt} = \sum_k q_k m_k + M_s$
- ・ エネルギー保存式 $\frac{dP}{dt} = \frac{R}{C_v V} \left\{ \sum_k q_k m_k (C_p T_k + V_k^2 / 2) + M_s C_p T_s + E_s \right\}$
- ・ 運動量保存式(ダクト) $I \frac{dm}{dt} = (P_i - P_j) - K_{eff} \frac{1}{A^2} \frac{|m| + |m|}{2\rho}$

ここで、 A ：流路面積、 C_p ：定圧比熱、 C_v ：定容比熱、 E_s ：エネルギー発生速度、 I ：慣性、 K_{eff} ：摩擦、流路拡大・縮小等の抵抗も含む総括抵抗係数、 P ：圧力、 m ：質量流量、 M_s ：質量の発生速度、 t ：時間、 T ：気体温度、 V ：流速、 V ：ノードの体積、 ρ ：密度、 q_k ：流れ方向を設定するための係数（ブランチkの下流ノードでは $q_k = +1$ 、ブランチkの上流ノードでは $q_k = -1$ ）、 Σ ：対象とするノードに接続する全てのブランチの総和を表す。（添字 i, j ：ノード番号、 k ：ブランチ番号、 s ：発生項を表す）

ダクトにおける質量流量の計算においては、チョーキング(ダクト内圧力が臨界圧力に達し、臨界流量(音速)以上の流れにはならない現象)が考慮される。すなわち、ダクトの運動量保存式から計算された流量と臨界流量を比較し、小さい方の流量が採用される。

計算に必要な入力データとしては、各ブランチの流路面積及び流路長(ダクトのみ)、各ノードの体積及び流路面積、系内各部の圧力(または各ブランチの差圧)及び流量

の初期値、排風機の特性曲線(Q-Hカーブ)、フィルタの抵抗係数(または内部計算するための初期流量及び差圧)等である。なお、本コードには、排風機及びフィルタのモデルが内蔵されている。

爆発事象は、爆発を想定する部屋(ノード)において、質量及びエネルギーの発生速度を時間テーブルで与えることで模擬するが、圧力と温度、または、質量発生速度と温度の組み合わせを時間テーブルで与えることも可能である。これら時間テーブルは、通常、二等辺三角形のパルス状に与えることで模擬するが、その底辺(発生時間)は、部屋(ノード)の代表長さを音速で割った値の4~8倍の時間に設定する。また、爆発物質がTNT、レッドオイル、水素、アセチレンの場合は、その重量を入力するだけで、爆発事象を自動的に模擬するオプションもある。

これらの解析例として、図2-1に、EVENT84のマニュアルに記載のサンプル問題のモデル化の例を、図2-2に、その解析結果(圧力及び温度の応答)を示す。本モデルは、TNT 1 lb (約 0.45 kg) を爆発物質としてノード4で爆発させた場合の過渡変化を計算したものである。

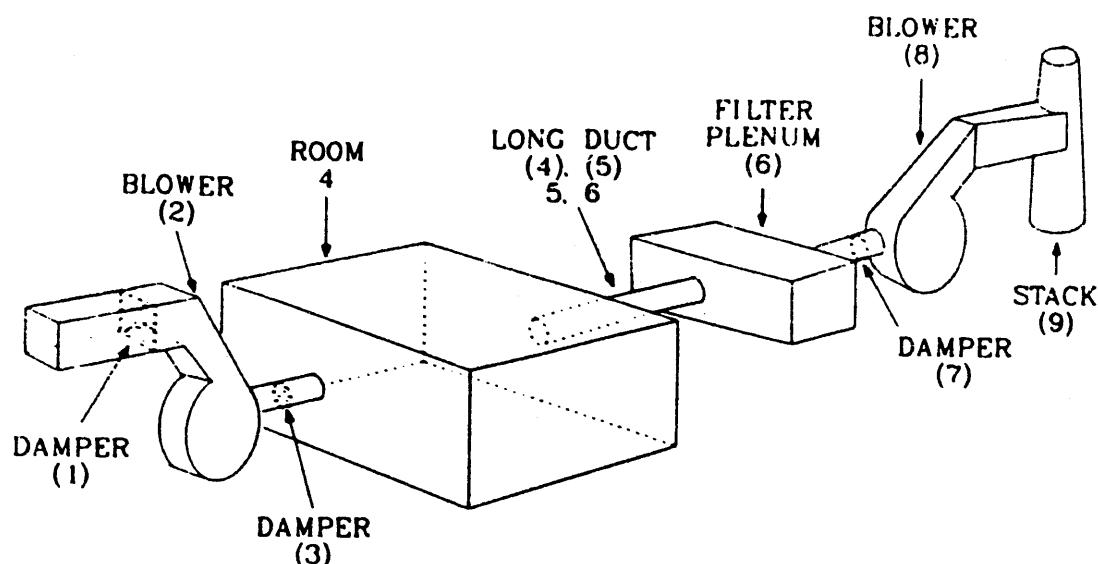


Fig. 14.
Ventilation system for sample problem.

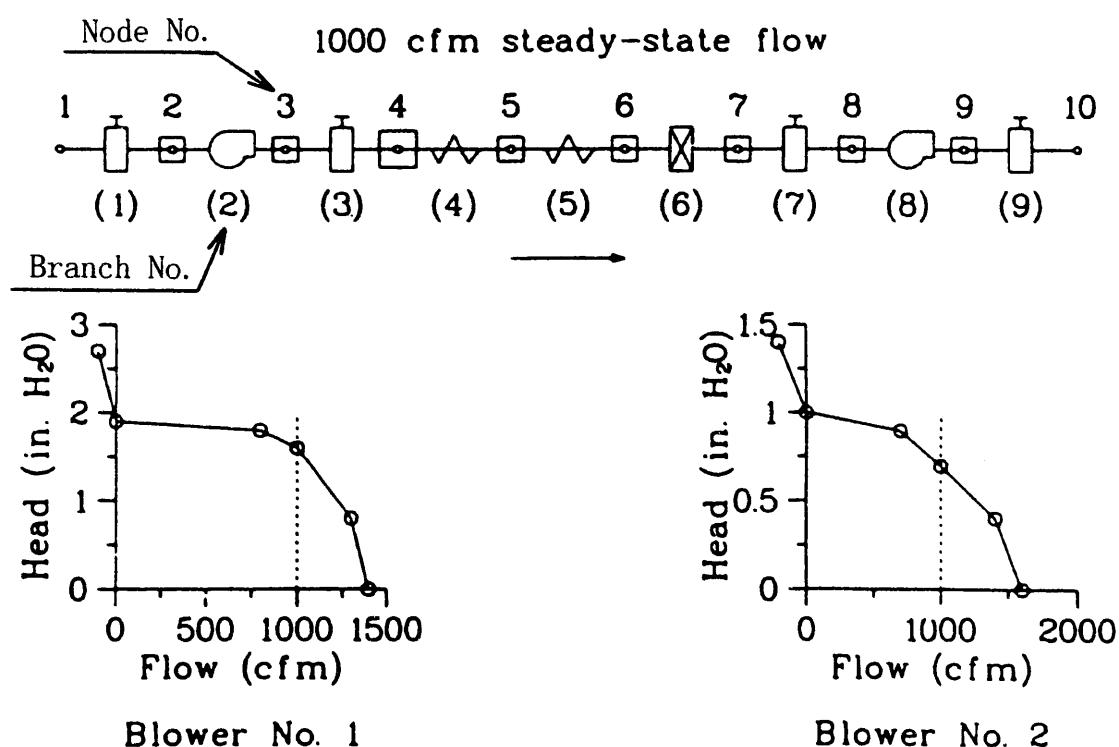


Fig. 15.
EVENT84 model of the sample problem and the blower curves.

図 2-1 換気系のモデル化の例 (EVENT84 のマニュアルに記載のサンプル問題)¹⁾

EXPLOSION IN LARGE ROOM, NODE 4

07/16/84

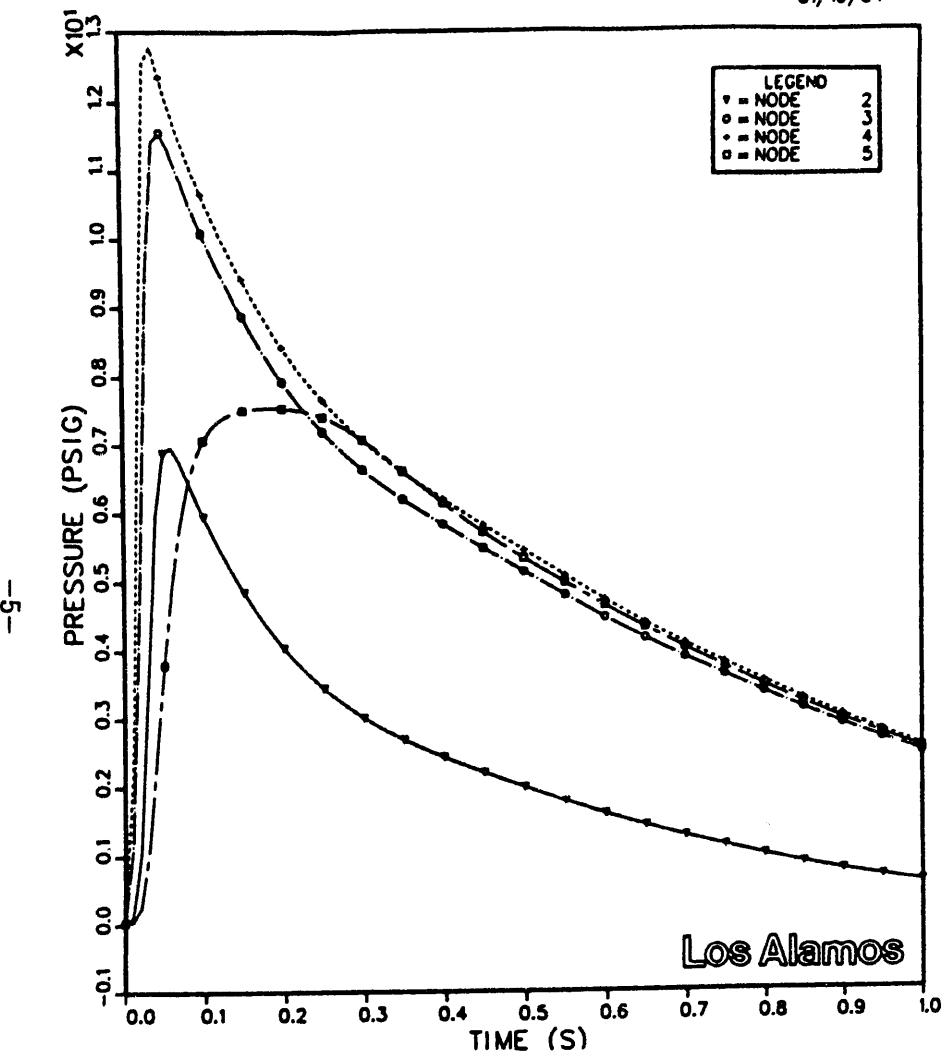


Fig. 17.
Sample problem nodal pressures.

EXPLOSION IN LARGE ROOM, NODE 4

07/16/84

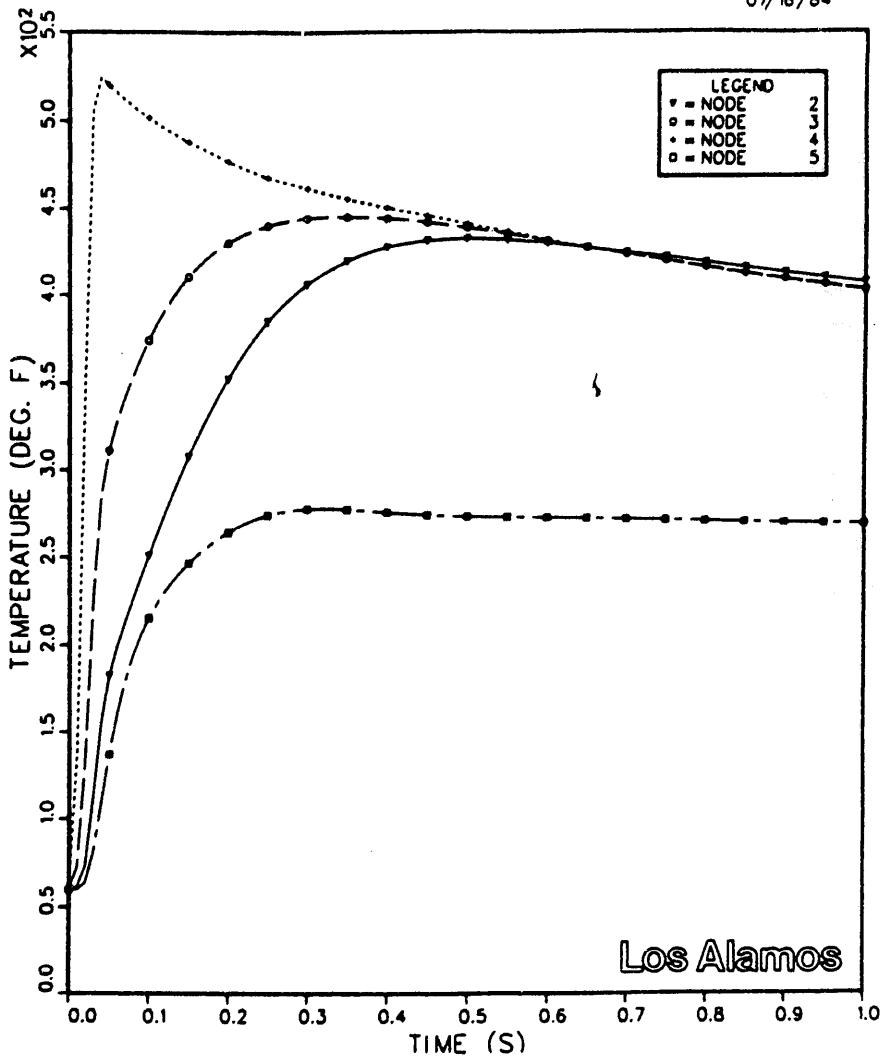


Fig. 19.
Sample problem nodal temperatures.

図 2-2 サンプル問題の計算結果（各ノードの圧力及び温度の応答）¹⁾

3. 解析コード EVENT84 の検証計算

3.1. 概要

アスファルト固化処理施設のセル換気系排気ダクトの圧力伝播解析を実施する前に、解析に使用するEVENT84コードの信頼性を確認することを目的として、原研で実施したセル換気系実証試験²⁾の試験データとEVENT84コードによる解析結果を比較・検証するベンチマーク計算を実施した。

3.2. セル換気系実証試験の概要²⁾

3.2.1. 実証試験の概要

本試験は、再処理施設における運転時の異常な過渡変化を越える事象(BAT)として考えられている急激燃焼(爆発)事象に関し、この事象を想定した場合に、その影響がセル換気系の安全性に与える効果を実証するために、原研が科学技術庁の委託を受けて昭和62年度から平成2年度にかけて実施したものである。

本試験では、ニトログリセリンとニトロセルロースを固形化した固体ロケット燃料を燃焼させ、燃焼(爆発)に伴って伝播する圧力、温度、流量を試験装置の各部で測定することにより、セル換気系の安全評価に資するための試験データを取得している。本試験の目標としては、以下に示す通りとしている。

- HEPAフィルタの健全性の評価
- セル換気系内の圧力、温度、及び流量の伝播と減衰の効果の把握
- 解析コード CELVA*の検証用データの取得

* : 再処理施設の火災・爆発時の安全性を解析する1次元と3次元の

熱流動解析を考慮した放射性物質閉じ込め計算コード（原研で開発）

3.2.2. 実証試験装置

試験装置の規模は、再処理プラントの抽出セルとセル換気系の構造と寸法を縮小・模擬したものとしている。セルの体積は再処理プラントの共除染工程におけるセルの 1/4 規模とし、フィルタチェンバー内の総排気風量は 1/16 規模、フィルタを通過する排気流体の面速度は再処理プラントのそれと同一としている。

本実証試験装置の概要図を図3.2.2-1に示す。試験装置は、空気をセル内に供給する給気ダクト、爆発事象を発生させる第1モデルセル、第1ダクト、第1ダクトと連結する第2モデルセル、第2ダクト、他のセルからの空気の流入を模擬する希釈ダクト、第2ダクトと希釈ダクトの合流点(ミキサー)、ミキサーからHEPAフィルタまでの第3

ダクト、HEPAフィルターチェンバー(フィルタの仕様は再処理プラントで使用されているものと同一)、排気ダクト、プロア(再処理プラントで使用されているものと同様の遠心ターボ型排風機)、及びスタックから構成されている。また、試験装置内の各部には、圧力、温度、流量が測定できる各種のセンサーが備えられている。爆発は、第1モデルセル内に設置の火薬燃焼容器内で発生させ、容器内圧力が 100 kg/cm^2 G、燃焼時間が約5秒間となるように付属の点火器で制御している。

3.3. セル換気系実証試験装置のモデル化

3.3.1. 試験装置のモデル化及び(EVENT84入力用)幾何形状データの作成

EVENT84での解析に際しては、解析の対象とする換気系各部の幾何形状データ(流路面積、流路長、体積)を入力する必要がある。これらの構造及び寸法は別添-1²⁾に示す通りであり、これらを基に入力用幾何形状データを作成した。また、EVENT84では、系内各部の圧力と温度は各ノードにおいて計算されるため、比較の対象に選定した試験装置内の圧力と温度の測定点にノードが配置されるように系内各部をモデリングした。なお、モデル化に際して、特に留意した点を以下に示す。

(1) 給気ダクト

EVENT84では、弁、ダンパーは、ダクトと同様、流れに抵抗を与える要素としてのみ機能するため、付属するダクトに含めたモデル化が可能である。従って、給気ダクトに設置のコントロール弁、逆止弁については、付属するダクトに含めてモデル化することとした。また、給気フィルタについては、その仕様が不明なため、一般によく利用されているエアフィルタの寸法($610\text{mm} \times 610\text{mm} \times 100\text{mm}$)³⁾を使用した。

(2) 第1モデルセル、第1ダクト、第2モデルセル

第1モデルセルは、内径3m×高さ2.7m、体積 18.6m^3 であり、第2モデルセルは、内径1.6m×胴長4m、体積 7.4m^3 である。また、第1ダクトについては、ダクトの中間点近傍にノード4を設けて、当該箇所での圧力、温度の挙動を解析できるようにした。

(3) 第2ダクト

第2ダクトは、口径200A×全長約50mの長距離ダクトである。当該ダクトについても、比較の対象とする圧力計及び温度計の設置箇所に各ノードが配置されるように、ダクトを5個のブランチに分割してモデル化した。

(4) 希釀ダクト、第3ダクト、排気ダクト

これらダクトについても、上記と同様に、分割してモデル化した。なお、希釀ダクトに設置のフィルタについても、給気フィルタと同様と想定しモデル化した。

(5) HEPAフィルタ

HEPAフィルターチェンバーの構造としては、チャンバーの前段及び後段に 610mm^D

×305mm^w×292mm^l サイズのフィルタがそれぞれ6個ずつ、計12個のフィルタが据え付けられている。モデル化に際しては、チェンバーの前段をブランチ(13)、後段をブランチ(14)として、これらの寸法から幾何形状データを設定した。

以上を考慮して設定した解析モデルを図3.3.1-1に示す。本図に記載のブランチNo.及びノードNo.は、対応が分かるように別添-1にも示してある。これらを基にして設定したブランチ及びノードの幾何形状データを、他の入力データと併せて別添-2にまとめて示す。当該幾何形状データには、ブランチデータとして入力が必要な各ブランチにおける初期流量(給気流量: 558m³/h、希釈流量: 3822m³/h、排気流量: 4380m³/h)²⁾も併せて記載している。

なお、EVENT84は開発元が米国の研究所ということもあり、計算で使用する単位系は SI単位系ではなく、米国で通常使用されている単位、例えば、長さは feet (ft)、圧力は psi (pound per square inch)、温度は 華氏 (F)、流量は cfm (cubic feet per minute)等であるため、別添-2ではこれらの単位系を用いて記載している。

3.3.2. 排気プロアのモデル化

本試験装置で使用する排気プロアの特性曲線を別添-1²⁾に示す。プロアデータについては、本図を基にデータをテーブル化して入力した。

3.3.3. 爆発事象のモデル化

爆発は、第1モデルセル内に設置の火薬燃焼容器内で、固体ロケット燃料を燃焼させることにより発生させる。爆発事象は、爆発を想定する部屋(ノード)において、質量及びエネルギーの発生速度を時間テーブルで与えることで模擬する。今、固体ロケット燃料の物性²⁾として、

- ・ 燃焼後の生成ガス量 : 0.868 Nm³/kg
- ・ 爆発時の発熱量 : 880 kcal/kg

が与えられており、使用する火薬量が 2 kg であることから、爆発時のガス発生量は、 $0.868 \text{ [Nm}^3/\text{kg}] \times 2 \text{ [kg]} \times 1.3 \text{ [kg/Nm}^3]^{*} = 2.257 \text{ [kg]}$ となる。

(*: 生成ガスの密度を空気と同等(1.3kg/Nm³)とした)

また、爆発時の発熱量は、 $880 \text{ [kcal/kg]} \times 2 \text{ [kg]} = 1760 \text{ [kcal]}$ であり、爆発に伴い生成ガスが燃焼時間5秒間にわたってパルス状に発生することとして、爆発時の質量発生速度と発熱量の経時変化を図示すると別添-2に示す通りとなる。

ここで、ピークの質量発生速度は、

$$2.257[\text{kg}] \times 2.205[\ell\text{b}/\text{kg}] / (5/2)[\text{s}] = 1.991[\ell\text{b}/\text{s}]$$

ピークのエネルギー発生速度は、

$1760[\text{kcal}] \times 3.97[\text{Btu}/\text{kcal}] / (5/2)[\text{s}] = 2795[\text{Btu}/\text{s}]$ である。
これらを基に爆発事象を数値化し模擬した。

3.3.4. 初期圧力及び温度の設定

EVENT84では、与えられた系内各部の初期流量及び初期圧力分布(またはブランチの初期差圧)を基にして各ブランチにおける抵抗係数を計算しているため、予めこれらのデータを準備する必要がある。

まず、各ブランチにおける初期流量は、3.3.1項でも記載の通り、給気流量： $558\text{m}^3/\text{h}$ 、希釀流量： $3822\text{m}^3/\text{h}$ 、排気流量： $4380\text{m}^3/\text{h}$ である。

次に、系内各部の初期圧力分布を求める上で、各ブランチにおける圧力損失(差圧)を計算する必要があるが、ダクトにおける圧力損失は、下式を基にして計算した。

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2g}$$

ここで、 ΔP ：圧力損失[mmAq]、 λ ：摩擦係数[-]、 L ：配管長[m]、
 D ：配管径[m]、 ρ ：密度[kg/m^3]、 v ：流速[m/s]、
 g ：重力加速度($= 9.8 \text{ m/s}^2$)

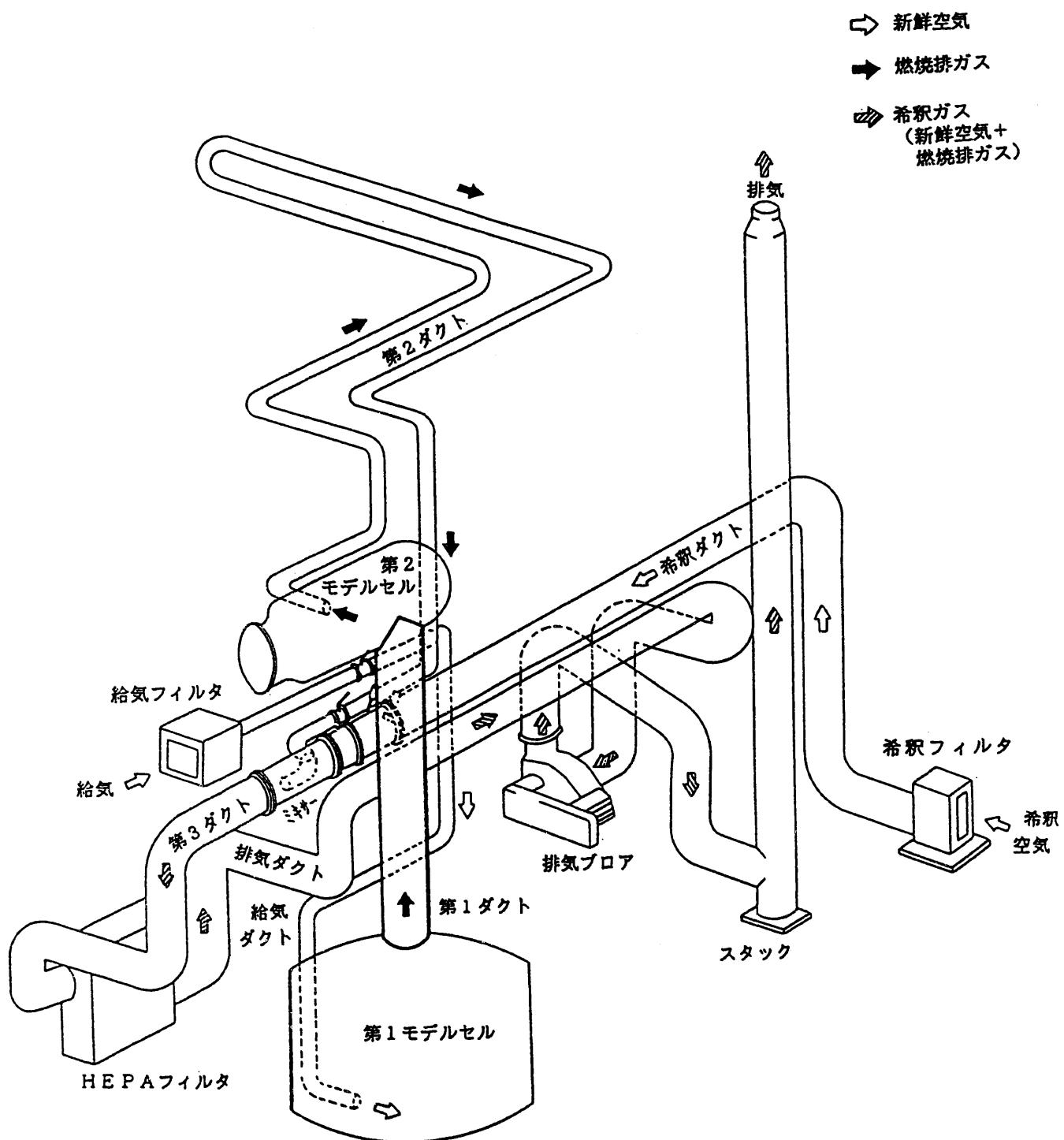
ここで、摩擦係数 λ はムーディ線図⁴⁾により求める。なお、EVENT84計算コード内部でも、上式を基に、すなわち、ムーディの摩擦係数を基にして、各部の抵抗を計算している。また、ダクト以外の初期差圧については、以下の通り設定した。

- ・ 給気、希釀フィルタ : 文献値³⁾を基に設定 (20mmAq)
- ・ HEPAフィルタ : 実測データより設定
- ・ プロア : 特性曲線(別添-1)より設定

これらの圧力損失の計算結果を別添-2に示す。

次に、各ノードにおける初期圧力を設定する。当該初期圧力の設定においては基本的には実測データを基に設定すべきと考えるが、すべてのノードにおける正確な実測データがないこと、及び、ダクトに付属するコントロール弁、逆流防止ダンパー等の仕様が不明であることから、第2ダクトと希釀ダクトの合流部(ノード10)、及び、大型ダンパーの設置により比較的大きな圧力降下の生じているブランチ(11)の下流にあるノード12においてのみ、実測値(試験データ)から読み取った初期圧力を設定することとする(正確なものではないが)。それ以外については、各ブランチの圧力損失値を基に系内各部の初期圧力を推定した。これらの考え方に基づき設定した系内各部の初期圧力を別添-2に示す。

また、系内各部の初期温度については、実測データを基に、雰囲気温度と同様、すなわち、 42.1 F ($5.6\text{ }^\circ\text{C}$)とした。

図 3.2.2-1 セル換気系実証試験装置²⁾

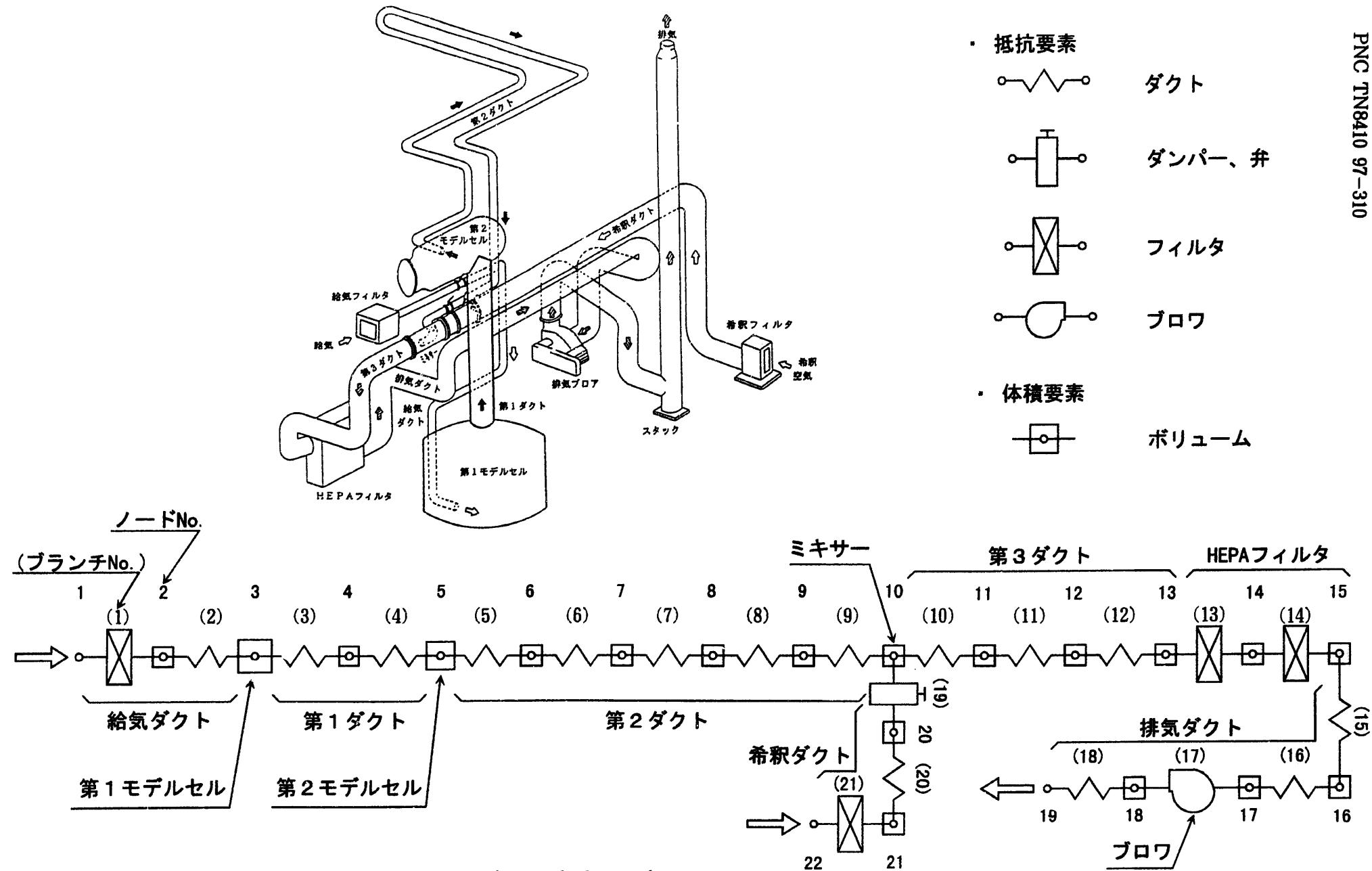


図3.3.1-1 セル換気系実証試験装置の解析モデル

3.4. 解析結果及び考察

前項で作成した解析用入力データを基に、大型計算機による計算を実施した。その結果を試験データとの比較も含めて以下に記載する。

3.4.1. 系内各部の圧力変化

図3.4.1-1に、第1、第2モデルセル、第1ダクト及び第2ダクト入口における圧力変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.4.1-2に、第2、第3ダクト及び排気ダクトにおける圧力変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

第1モデルセルでの圧力のピーク値は、試験結果が約146kPaであるのに対し、解析結果が約156kPaと高く、また、第1ダクト、第2モデルセル、第2ダクト(ノード6、7、8)についても、それぞれ解析結果の方が高いピーク値を示しており、安全側の評価結果が得られている。

しかしながら、第2ダクト(ノード9)以降、第3ダクト、排気ダクトにおいては、試験結果に対し解析結果のピーク値の方が低くなっている。

この原因を調べるために、各ブランチにおける初期圧損、ダクト長、ボリューム等を圧力が高くなる方向に任意に変更して(実際のモデルとはかけ離れるが)計算を実行してみたが、いずれの結果も本結果と同様の傾向となり、従って、これらの要素は圧力の低下傾向の直接の原因ではないと思われる。

そこで、本計算結果のうち、給気及び希釈ダクト(ブランチ1、2、19、20、21)での爆発発生後の流量が負の値になっていること、すなわち、給気及び希釈ダクトへの逆流が生じていることに着目して、この逆流事象が下流側への圧力伝播の効果を低下させている原因の一つと考え、次項でその影響検討を実施することにする。

3.4.2. 系内各部の温度変化

図3.4.2-1に第1モデルセルにおける温度変化(試験データ)、図3.4.2-2にその解析結果を示す。また、図3.4.2-3に第1ダクト及び第2モデルセルにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.4.2-4に第2ダクトにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.4.2-5に第3ダクトにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.4.2-6にHEPAフィルターチェンバーにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

本実証試験装置においては、第1モデルセル内の温度分布を測定するために、第1モデルセル内に、気相温度測定用のセンサーを18個、火炎温度測定用のセンサーを7個設置している。これらの測定結果は図3.4.2-1に示す通りで、火薬燃焼容器の真上有る温度センサー(TC-20B)ではピーク温度が1000°Cを越え、火薬燃焼容器から離

れた場所でのピーク温度は約350°Cと、第1モデルセル内で比較的大きな温度分布が生じている。一方、EVENT84では、セルのような大きな空間内でも圧力や温度は均一であるとして計算され、セル内の圧力分布や温度分布を求めることはできない。このため、第1モデルセル内の温度変化の解析結果(ピーク温度約420°C)と試験データとの単純な比較はできないが、温度変化全体の挙動としては比較的よく一致している。

次に、第1ダクト、第2モデルセルにおける試験結果についても、温度分布が生じているため、解析結果との単純な比較はできないが、その挙動については若干異なったものとなっている。試験データでは温度ピークの幅が狭いのに対し、解析結果ではその幅が広く、第2モデルセルに至っては温度が微増する傾向にある。これは、爆発発生元の第1モデルセルでの温度低下の傾向の相違に起因するものと考えられる。すなわち、爆発後の温度低下の傾向が、試験結果では測定開始後60秒で温度が約100°Cまで低下しているのに対し、解析結果では約200°Cまでしか下がらず、しかもその低下傾向がなだらかなものとなっているため、第1モデルセルの下流側では爆発発生後でも急激に温度は低下しないものと考えられる。

第2ダクトでの温度変化についても同様に微増の傾向にあり、この原因も上記と同様と思われる。また、第2ダクト以降の装置各部には断熱材が施されていないため(爆発発生元の第1モデルセルとそれに隣接する第1ダクト及び第2モデルセルには断熱材が設置されている)、第2ダクトでの放熱の有無もこれらの傾向の違いに結びついているものと考えられる。

次に、第3ダクト及びHEPAフィルターチェンバーにおける温度変化については、挙動的には比較的一致しているが、温度ピークが試験結果では10°C前後であるのに対し、解析結果が約150°Cとかなり高くなっている。これは、EVENT84による解析が断熱を前提としており、壁面熱伝達が考慮されない分、温度は高い値に計算されることによると思われる。当該箇所には断熱材は設置されておらず、しかも大口径のダクト、大型のフィルターチェンバーであることもあり(伝熱面積も大きい)、放熱量もかなり大きいものと思われる。また、解析結果において、第2ダクトで見られたような温度の微増傾向がないのは、当該箇所が大流量の希釈ダクトとの合流部以降にあり、その希釈効果によるものと思われる。

いずれにしても、これらの温度変化については、温度ピークとして試験結果とほぼ同等、またはそれ以上の解析結果が得られているため、安全側の評価になっているものと考える。

3.4.3. 第2ダクト、排気ダクト及び希釈ダクトにおける流量変化

図3.4.3-1に第2ダクトにおける流量変化(試験データとEVENT84による解析結果の

比較)を、図3.4.3-2に排気ダクト及び希釈ダクトにおける流量変化(試験データとEVE NT84による解析結果の比較)を示す。

第2ダクトにおける流量は、試験結果が約 $2.5\text{m}^3/\text{s}$ であるのに対し、解析結果が約 $2.7\text{m}^3/\text{s}$ と若干高いピーク値を示しており、安全側の評価結果が得られている。また、流量変化全体の挙動も比較的よく一致している。

排気ダクトについても、解析結果の方が試験結果よりも高い流量ピーク値を示している(約 $2.3\text{m}^3/\text{s}$ > 約 $1.8\text{m}^3/\text{s}$)。

希釈ダクトでの流量の解析結果によると、爆発発生時に希釈ダクトへの逆流が生じているが、試験結果では、逆流防止ダンパーの設置により、希釈ダクトへの逆流は生じていない。この逆流事象が、3.4.1.項でも記載の下流方向への圧力伝播の低下傾向の原因になっているものと考える。

3.4.4. HEPAフィルタの差圧変化

図3.4.4-1に、HEPAフィルタにおける差圧変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

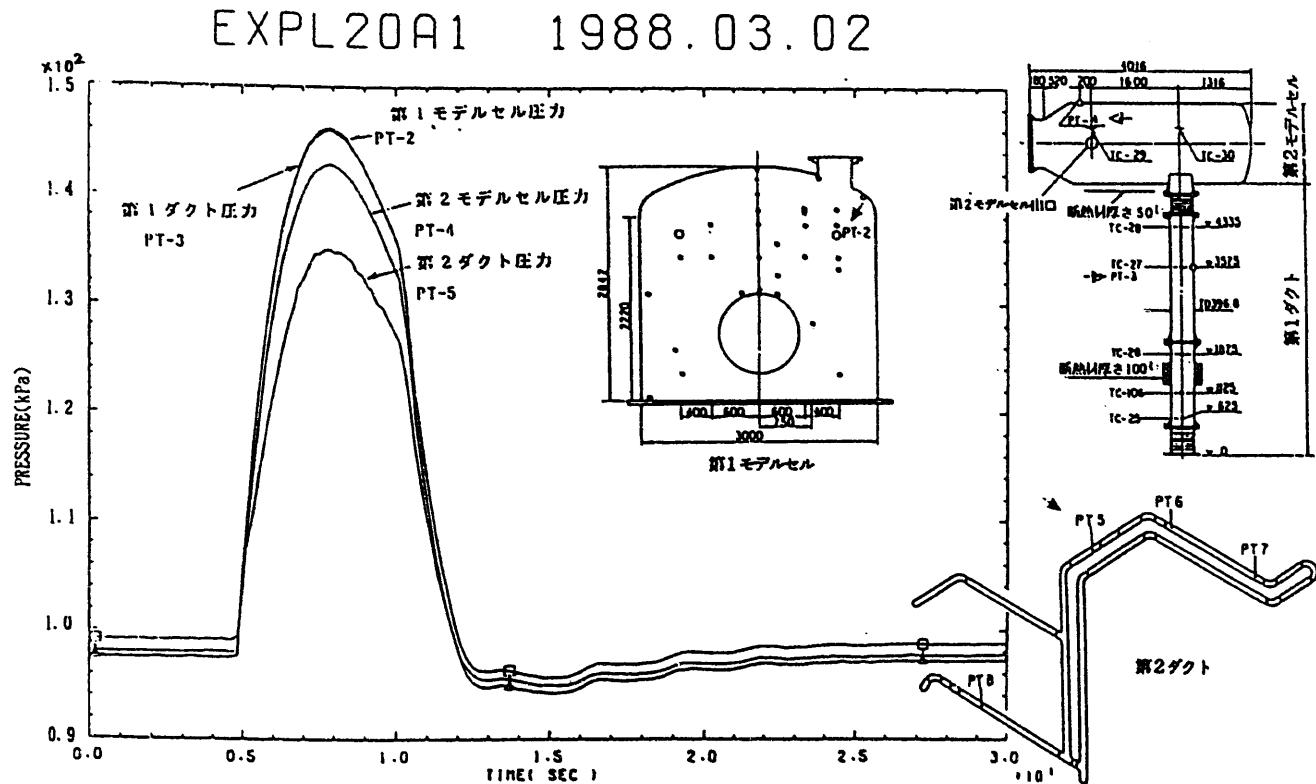
HEPAフィルタの前段及び後段の差圧は、試験結果が約 0.43kPa であるのに対し、解析結果が約 0.5kPa と若干高いピーク値を示しており、安全側の評価結果が得られている。HEPAフィルタ全体としても解析結果の方が高い差圧ピーク値を示している。また、差圧変化全体の挙動も比較的よく一致している。

以上、3.3.項で作成した解析用入力データを基に、EVENT84による解析を実施したが、圧力変化以外の、系内各部の温度及び流量変化、HEPAフィルタ差圧変化については、安全側の解析結果が得られた。

特に、換気系の解析で一番重要なHEPAフィルタの健全性の確認に必要なHEPAフィルタの差圧、温度が保守側の評価になっている。

一方、3.4.1.項で指摘した圧力変化の低下傾向の原因については、次項でその詳細を検討することとする。

試験データ（圧力変化図）



解析結果（圧力変化図）

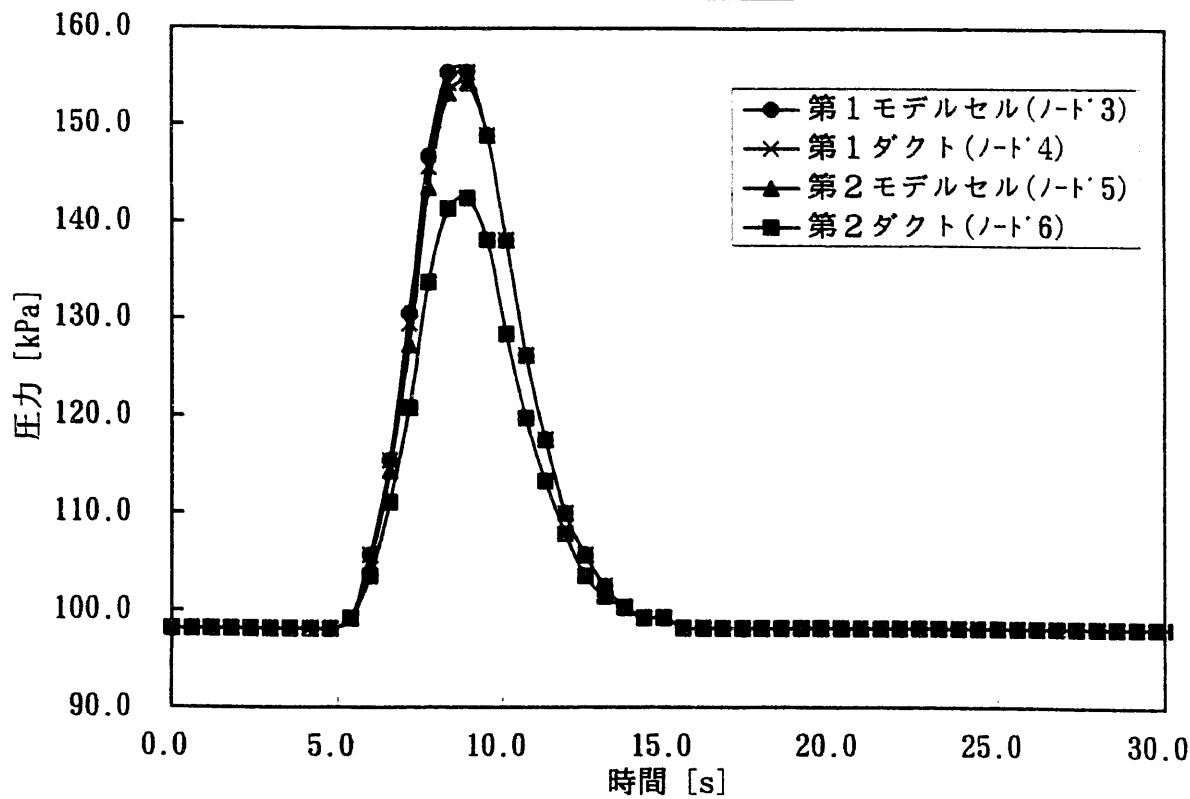
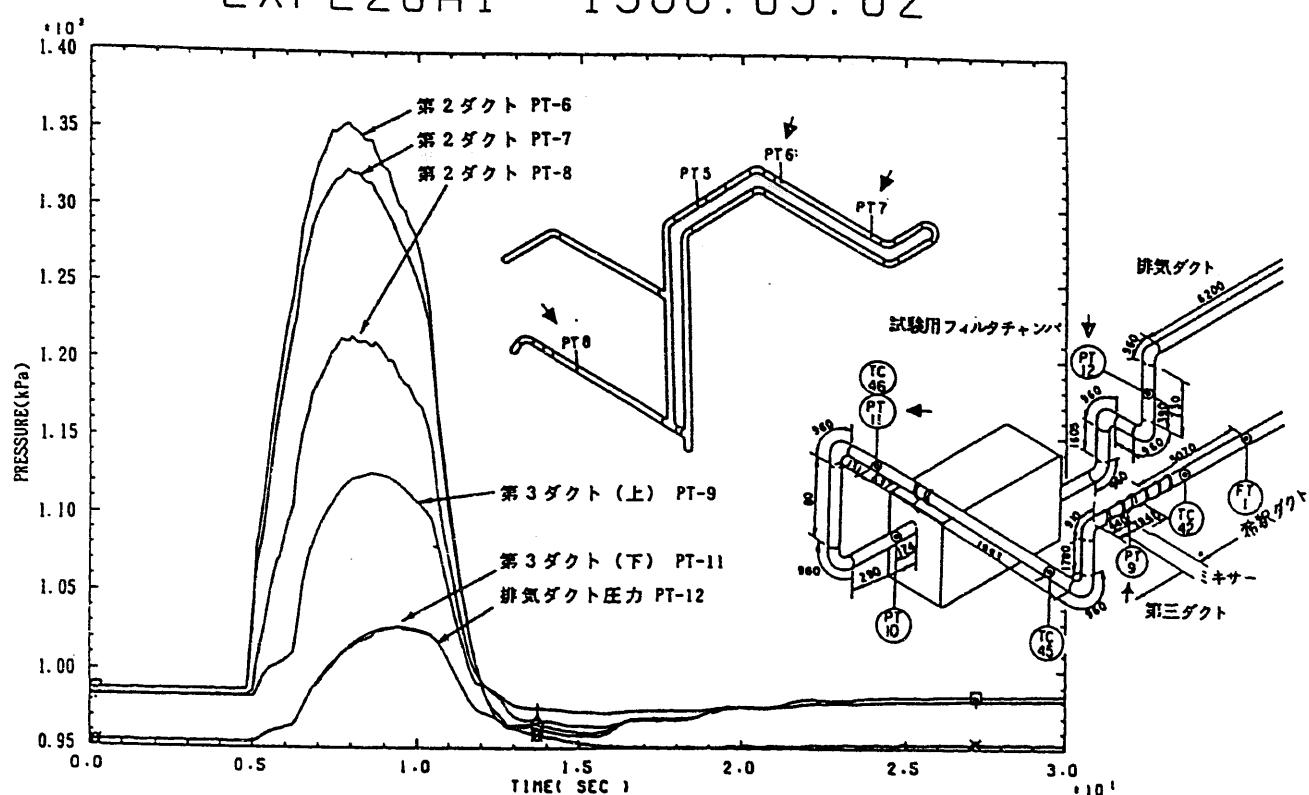
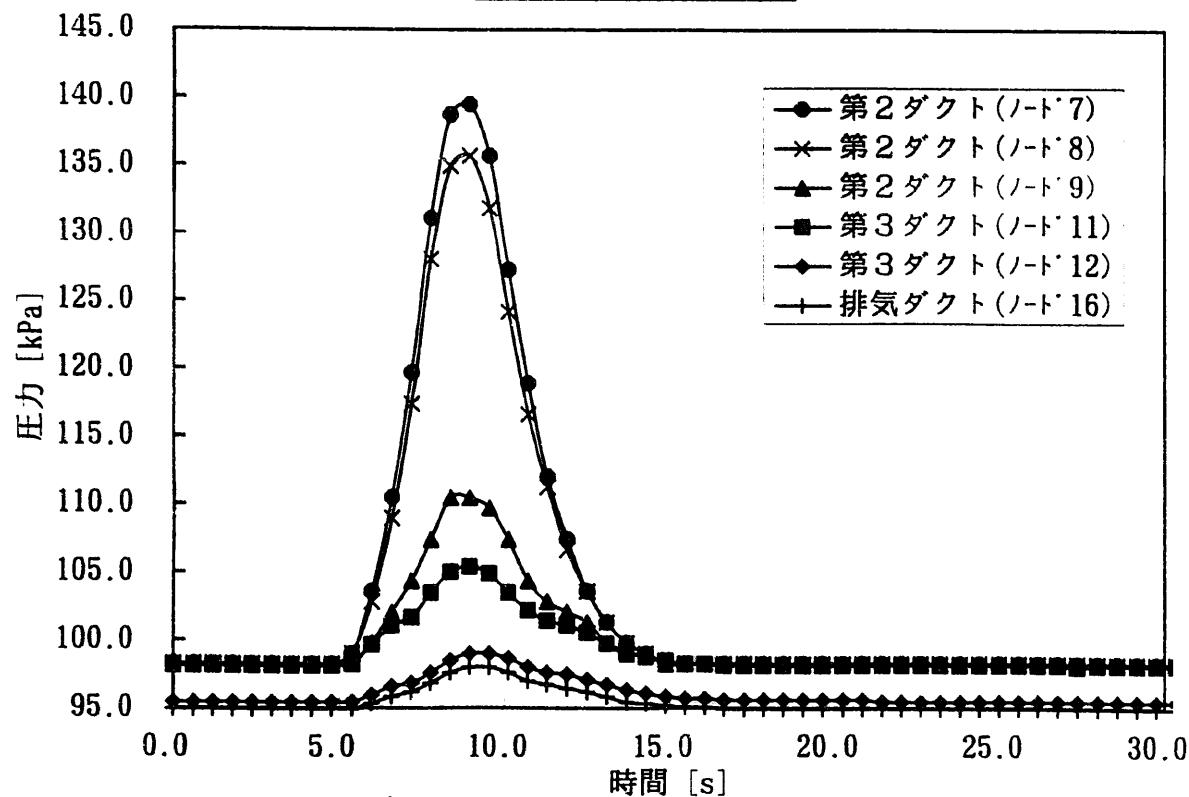


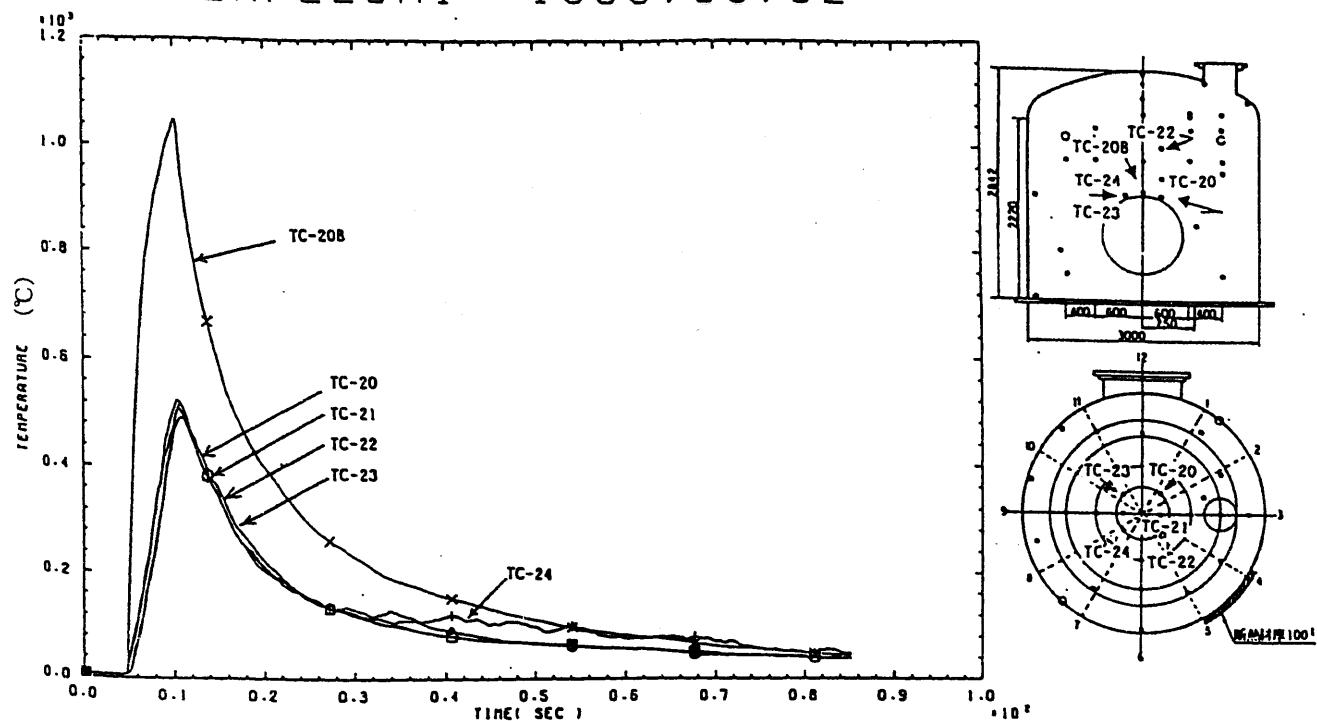
図3.4.1-1 第1、第2モデルセル、第1ダクト及び第2ダクト入口における圧力変化

試験データ（圧力変化図）

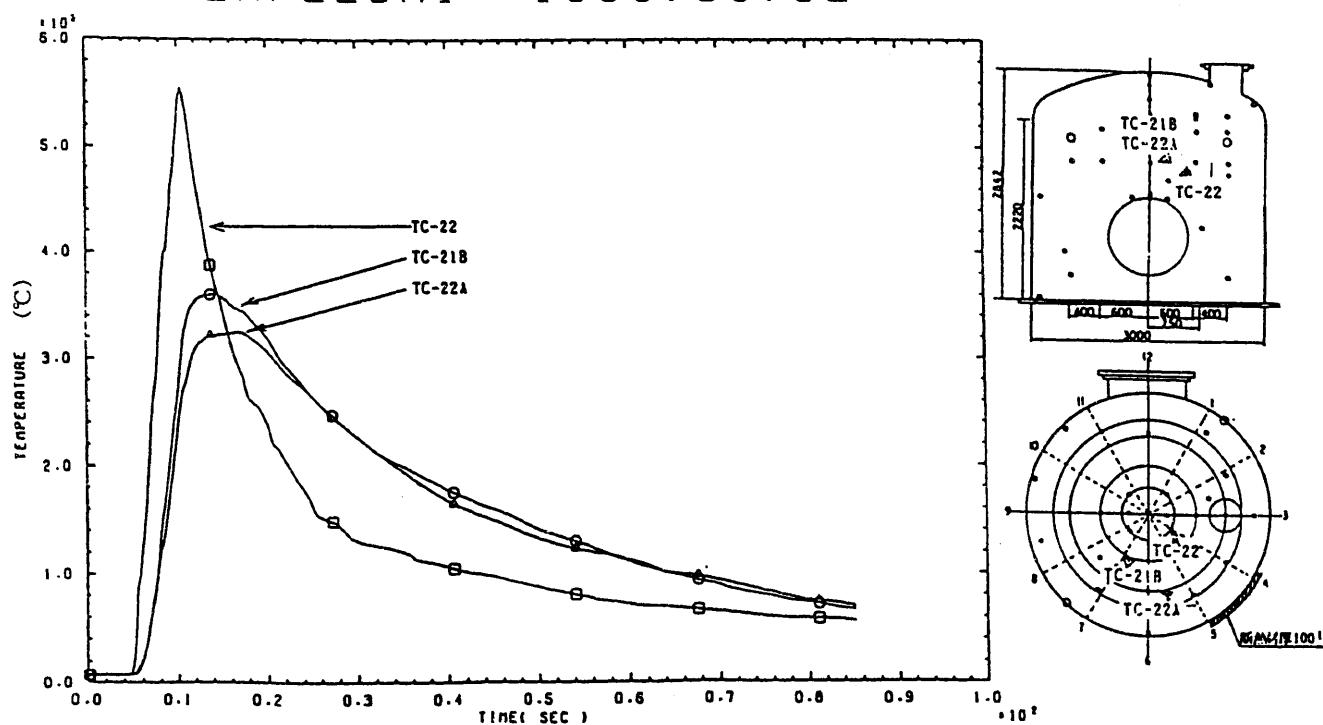
EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（圧力変化図）図3.4.1-2 第2、第3ダクト及び排気ダクトにおける圧力変化

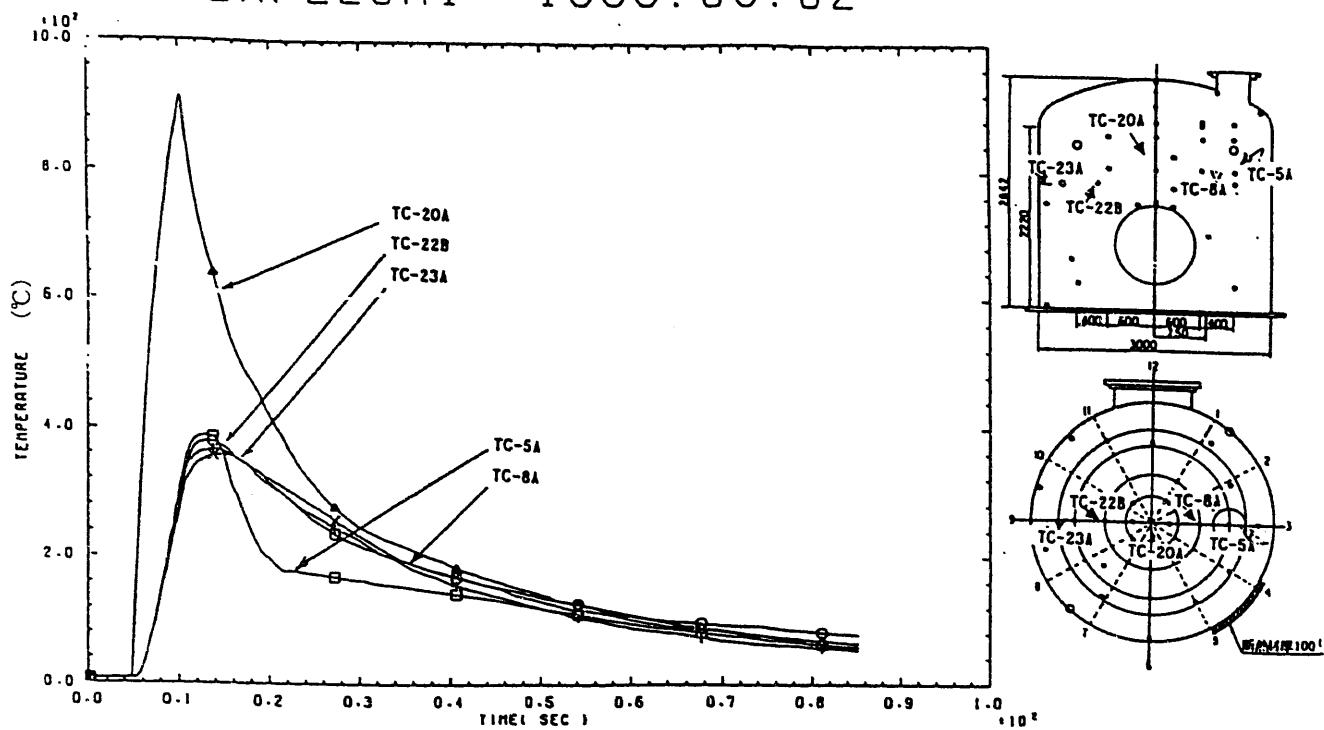
EXPL20A1 1988.03.02



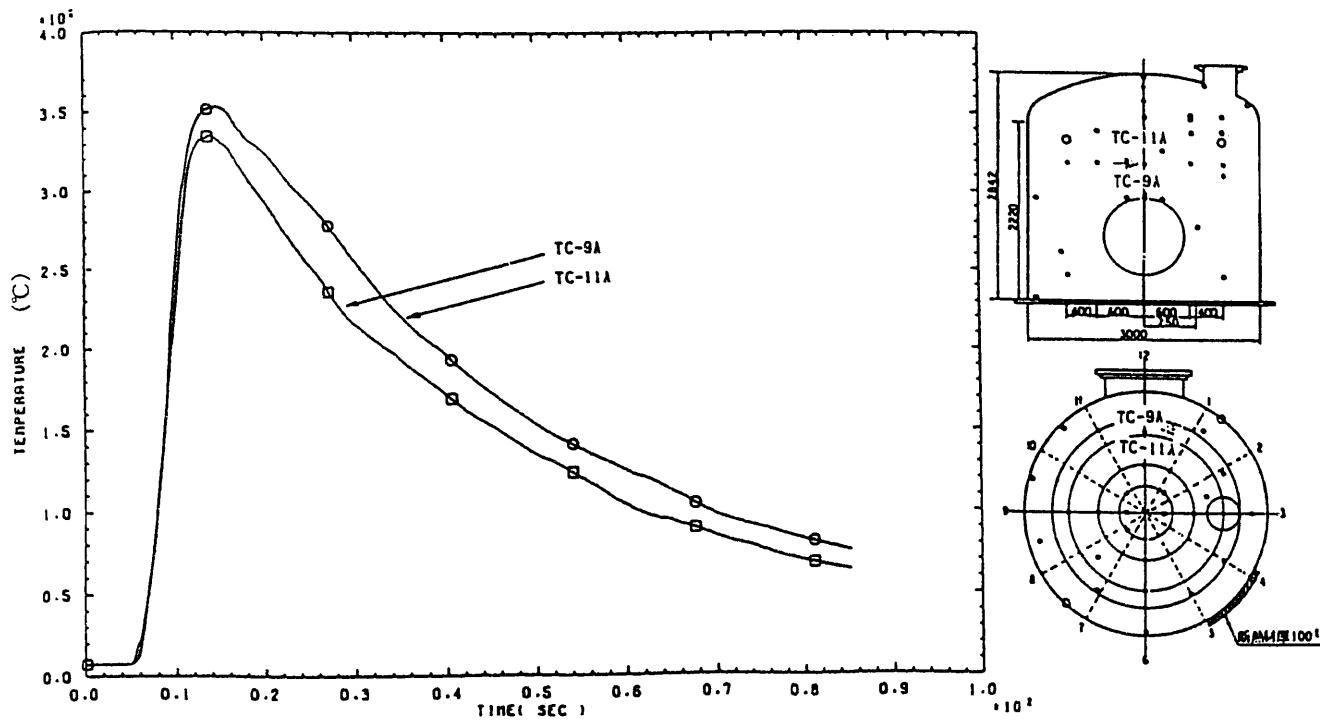
EXPL20A1 1988.03.02

図 3.4.2-1 第1モデルセルにおける温度変化(1/3) (試験データ)²⁾

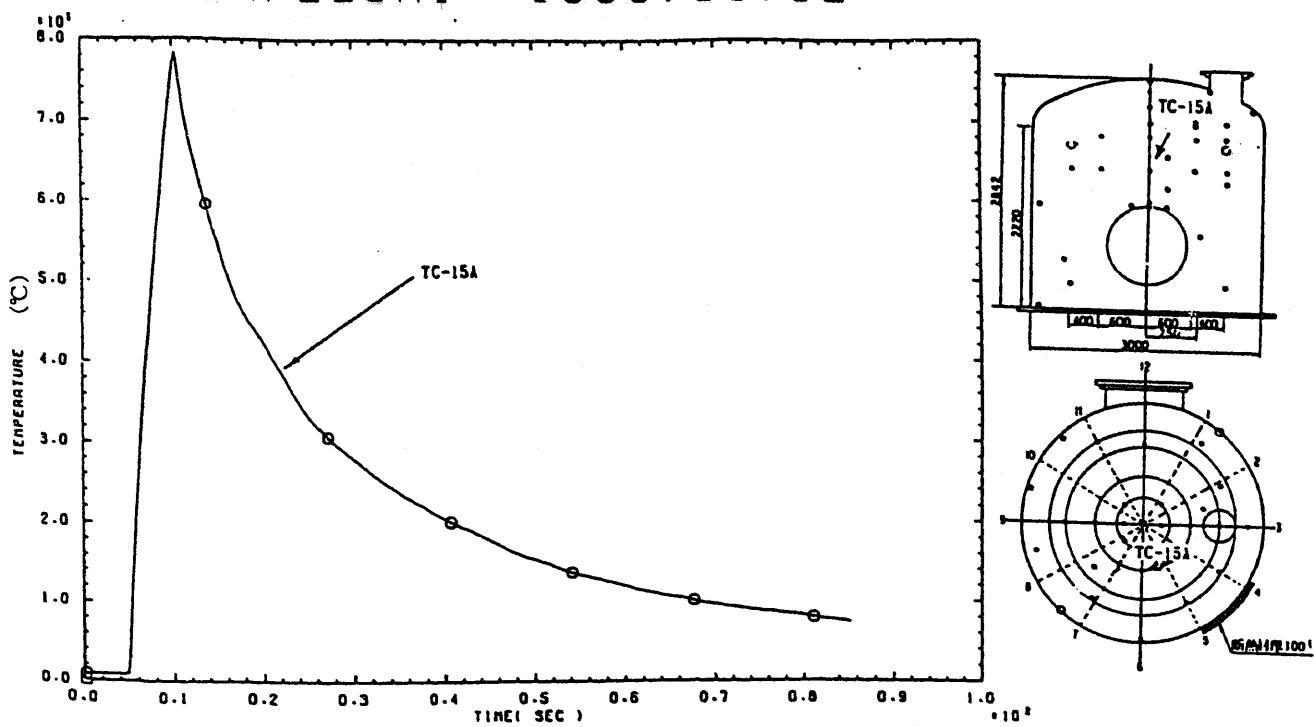
EXPL20A1 1988.03.02



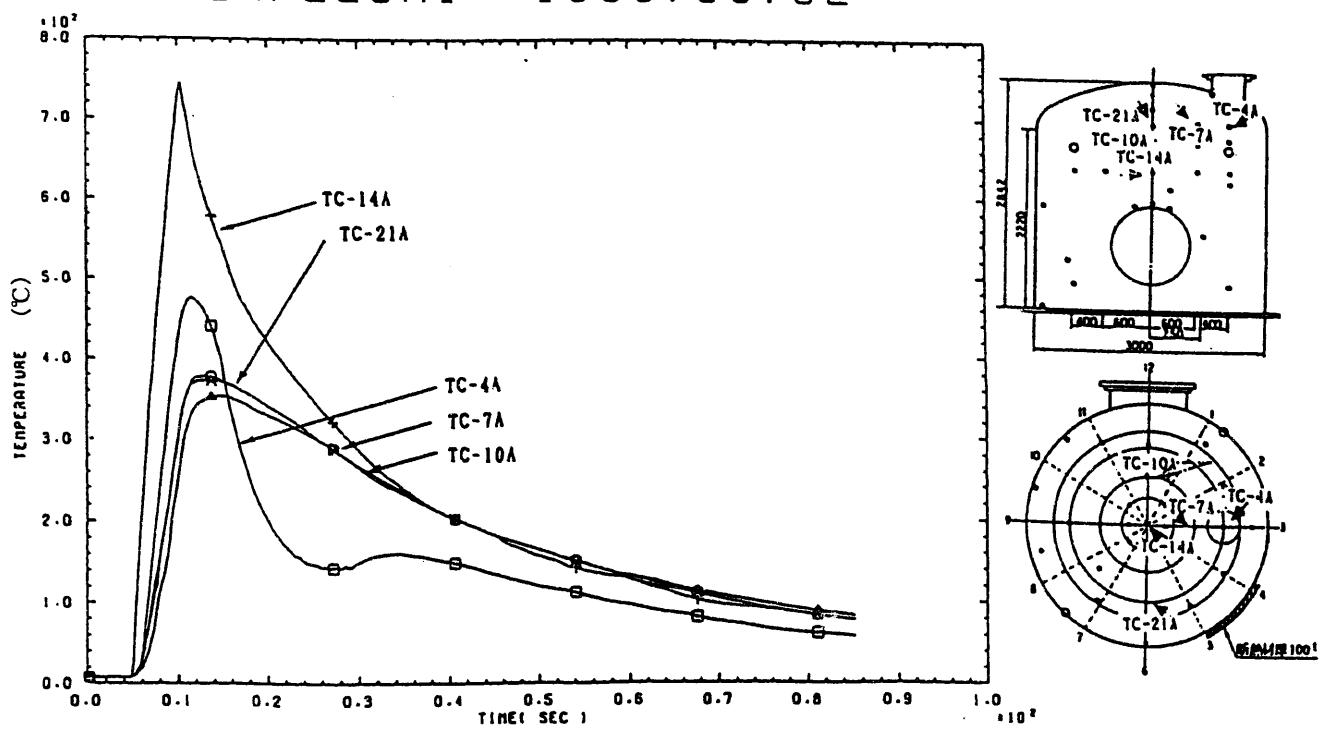
EXPL20A1 1988.03.02

図 3.4.2-1 第1モデルセルにおける温度変化(2/3) (試験データ)²⁾

EXPL20A1 1988.03.02



EXPL20A1 1988.03.02

図 3.4.2-1 第1モデルセルにおける温度変化(3/3) (試験データ)²⁾

-20-

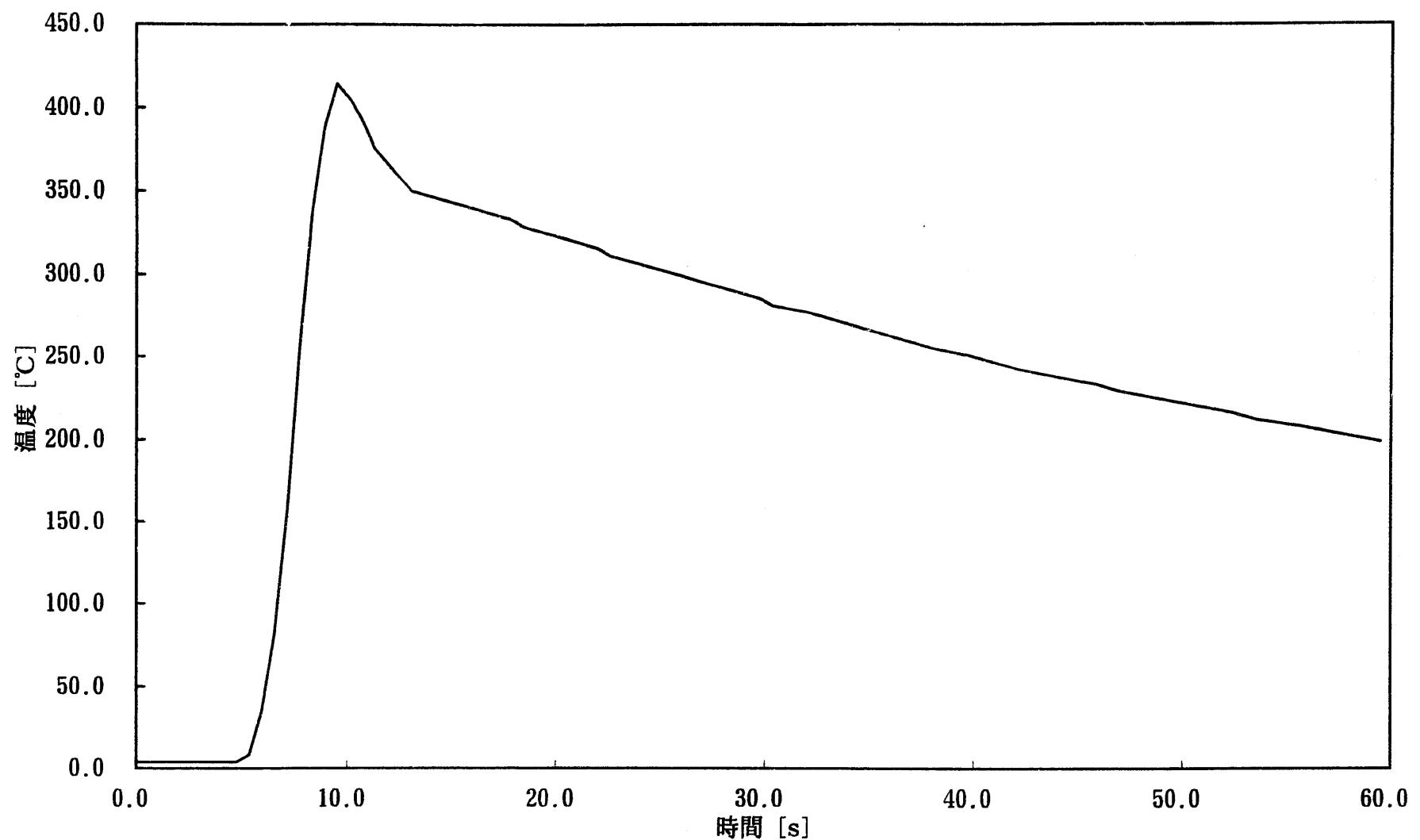
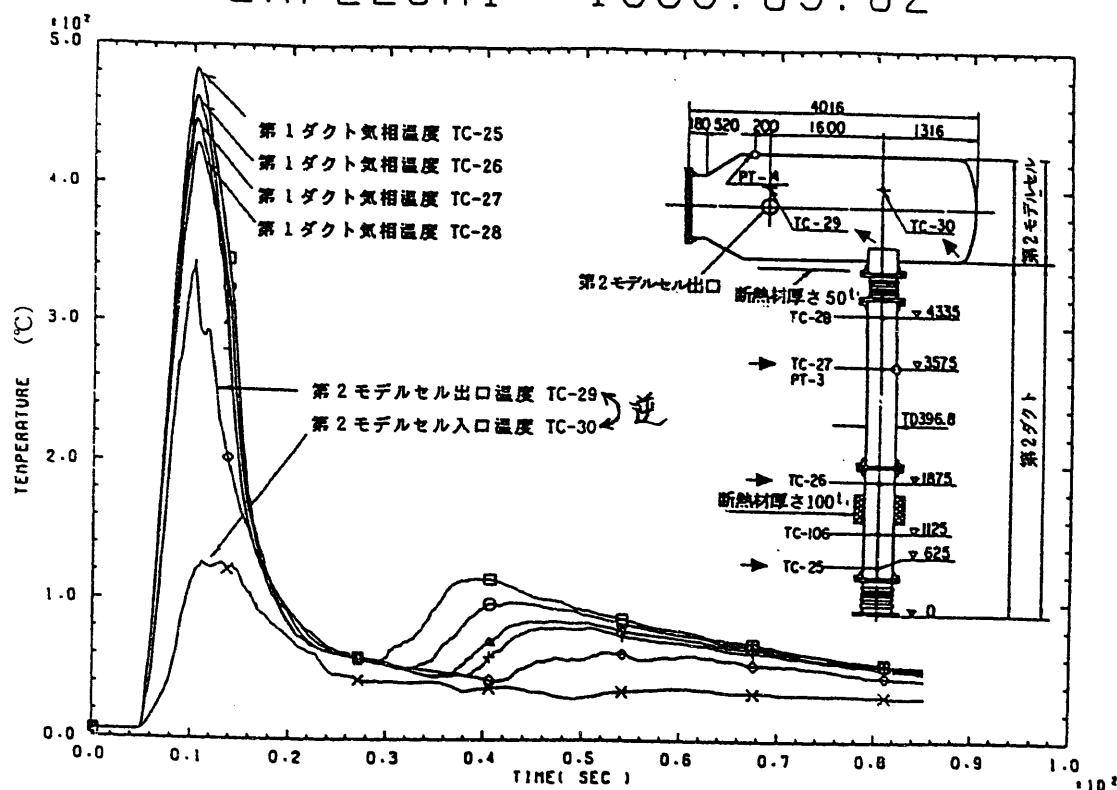
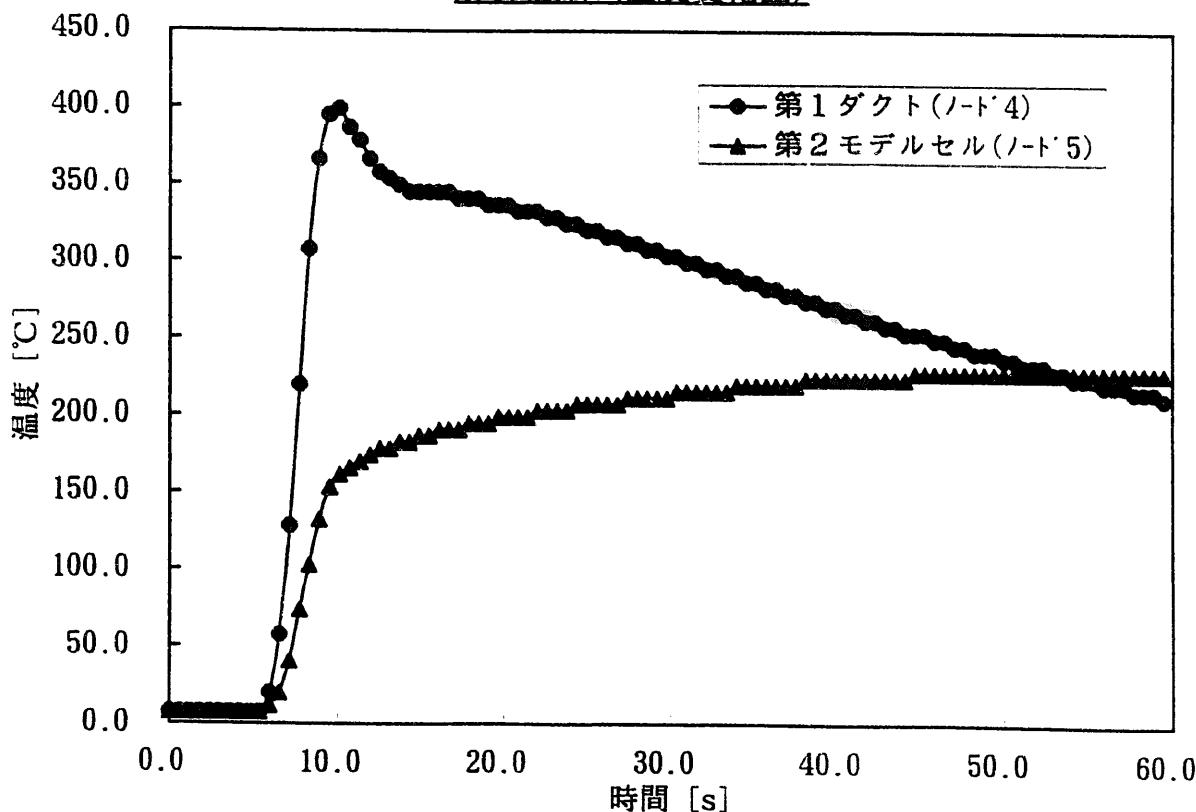


図3.4.2-2 第1モデルセルにおける温度変化（解析結果）

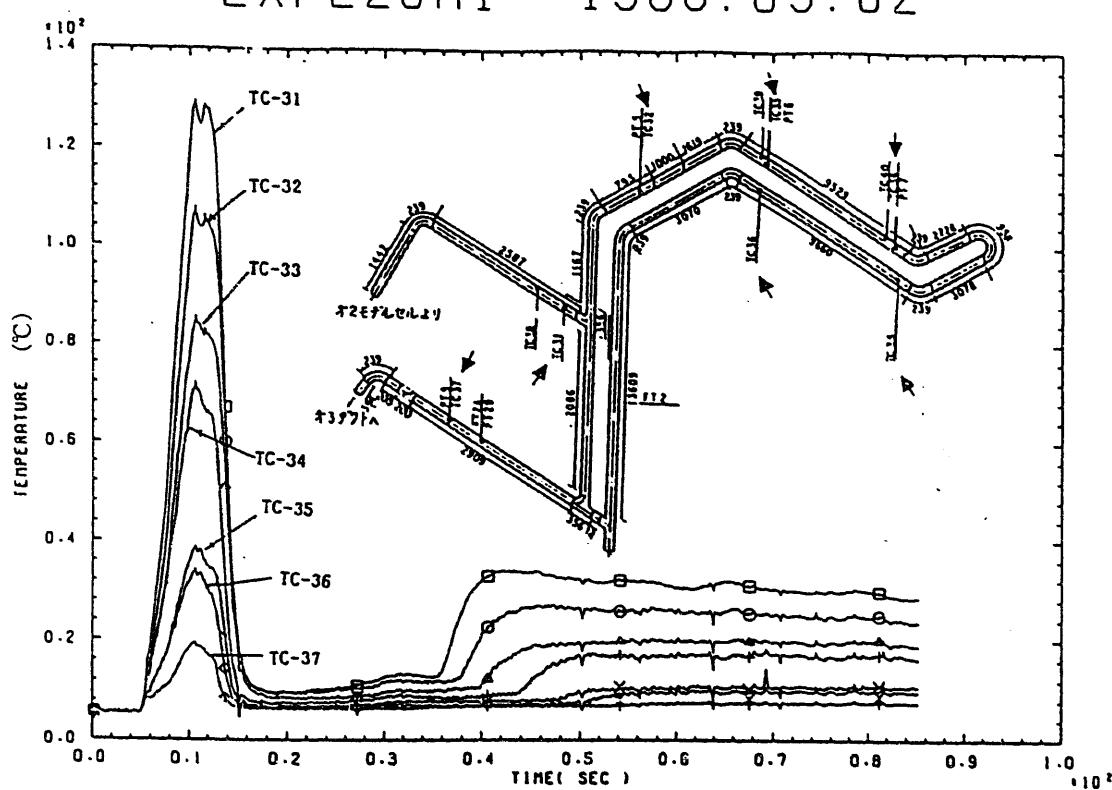
試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（温度変化図）**図3.4.2-3 第1ダクト及び第2モデルセルにおける温度変化**

試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02



解析結果（温度変化図）

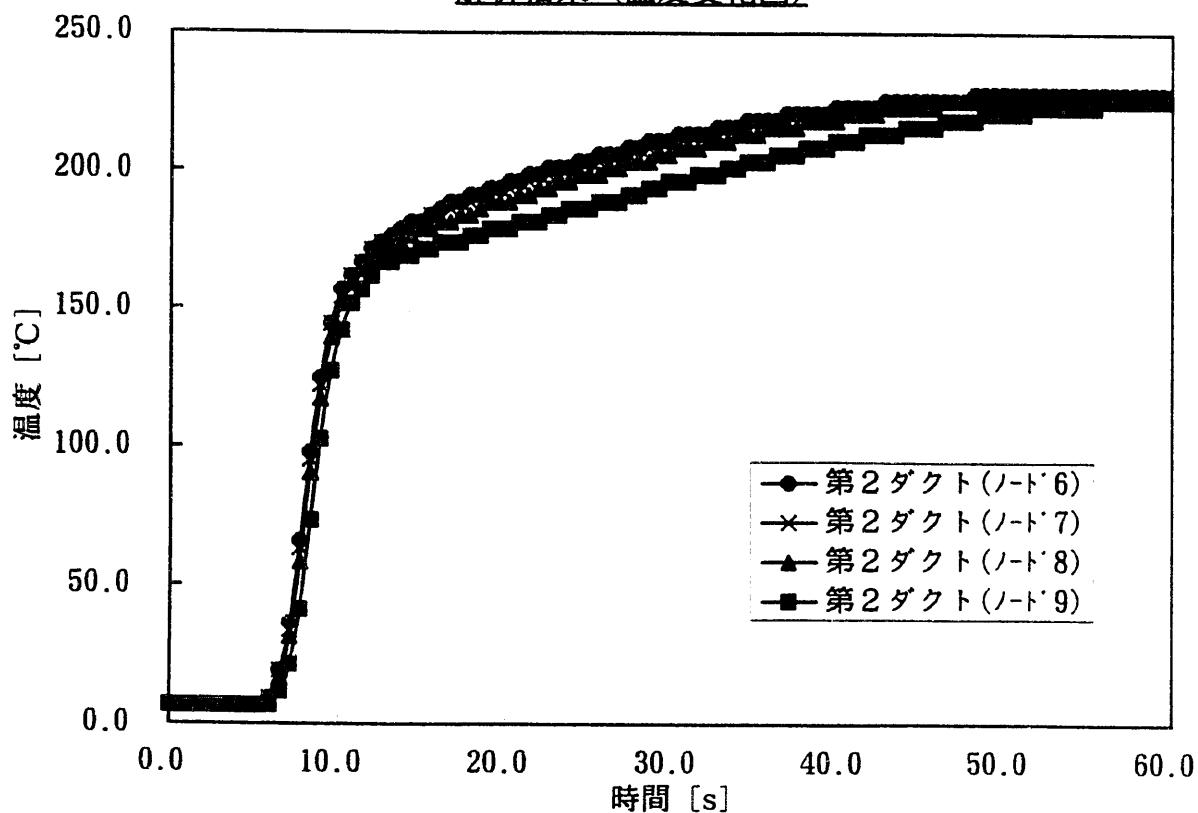
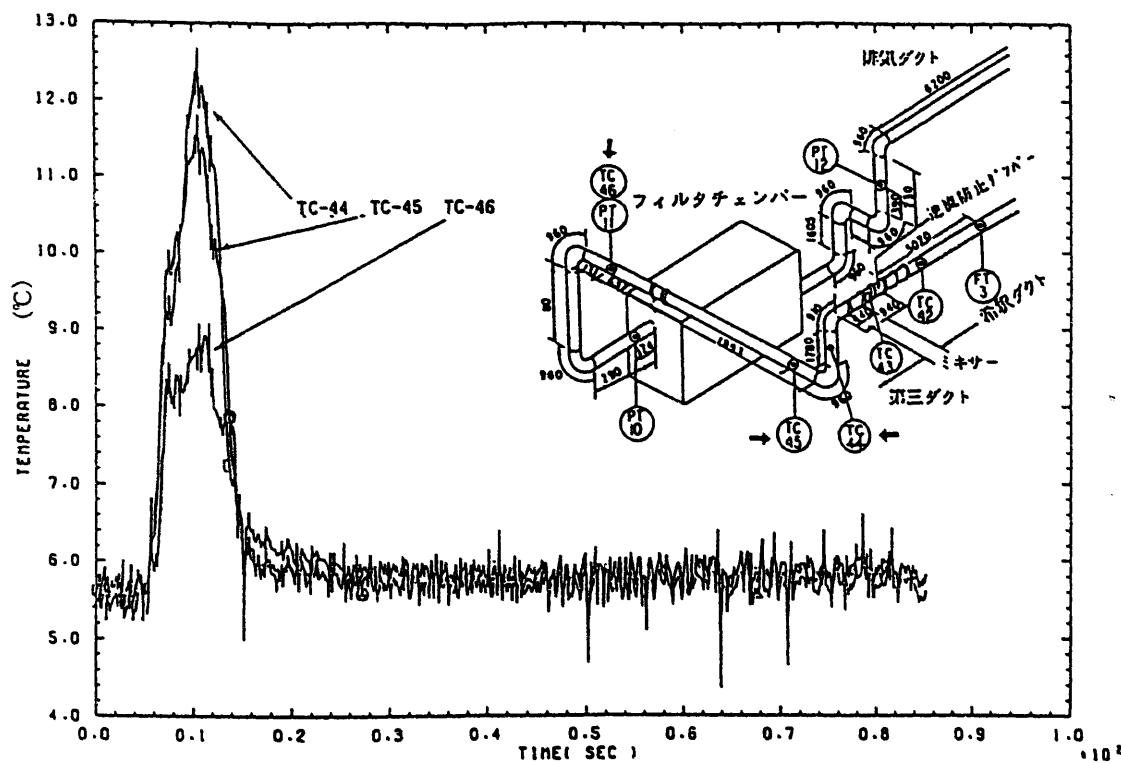


図3.4.2-4 第2ダクトにおける温度変化

試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02



解析結果（温度変化図）

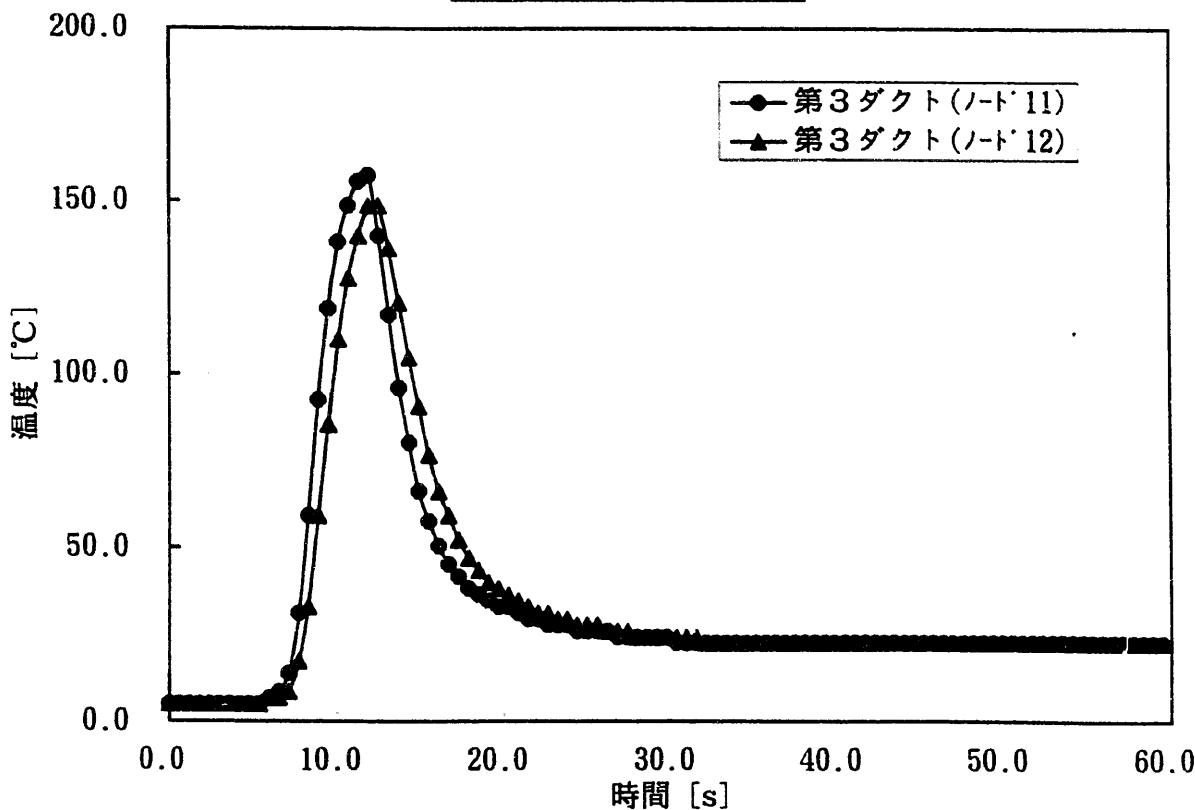
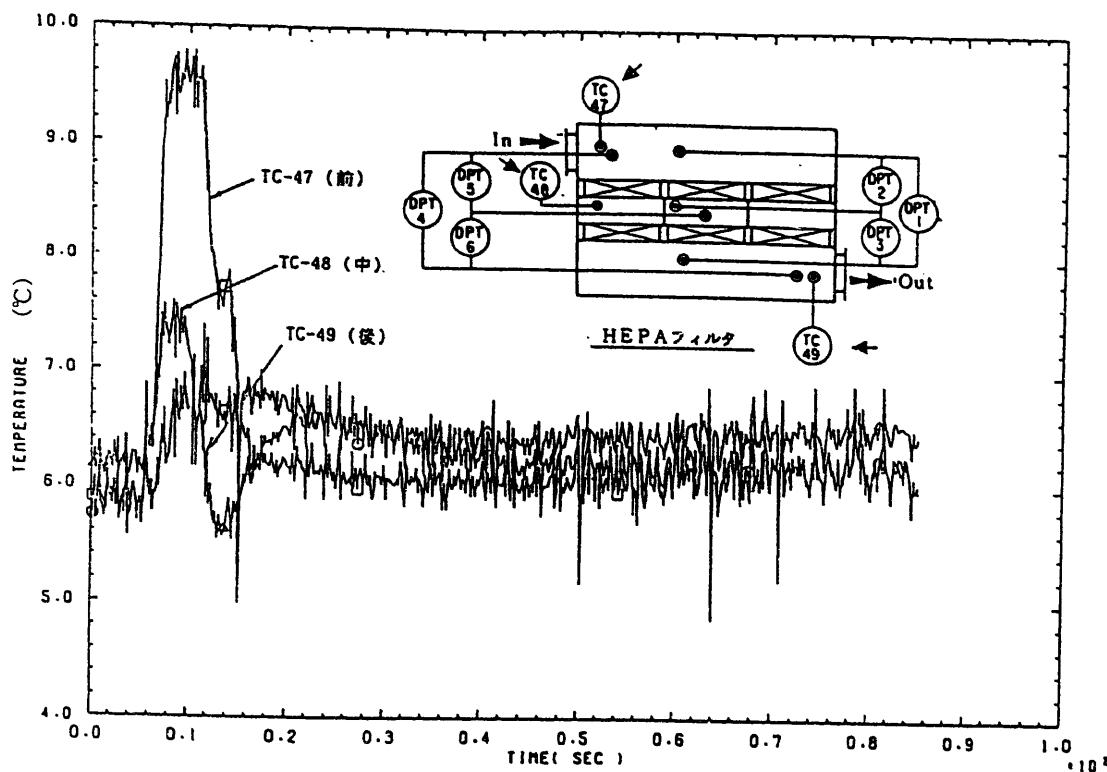


図3.4.2-5 第3ダクトにおける温度変化

試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02



解析結果（温度変化図）

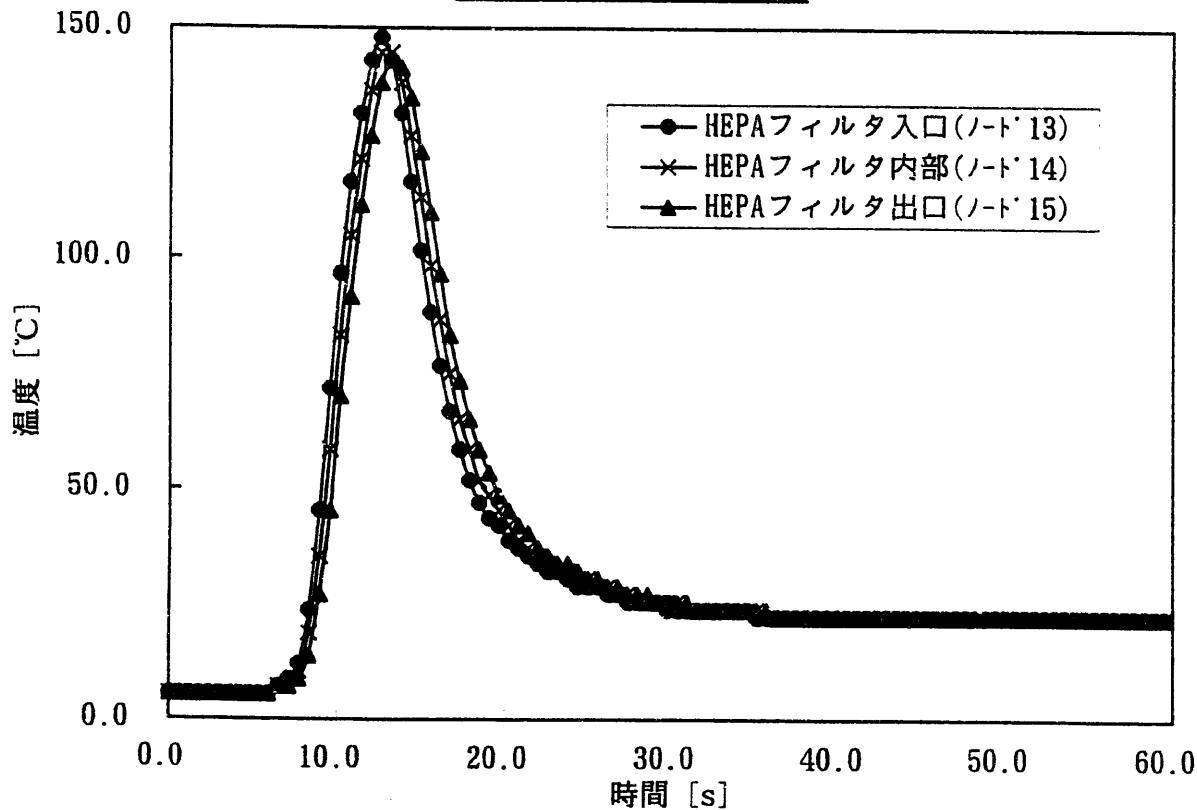
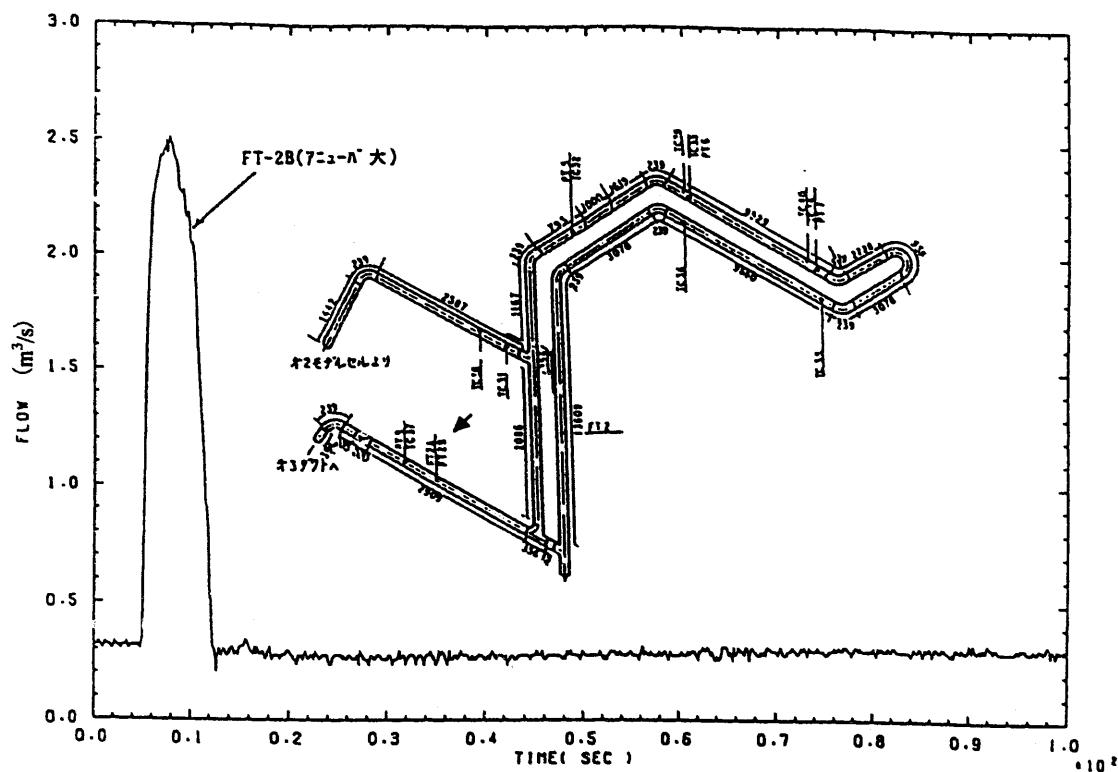
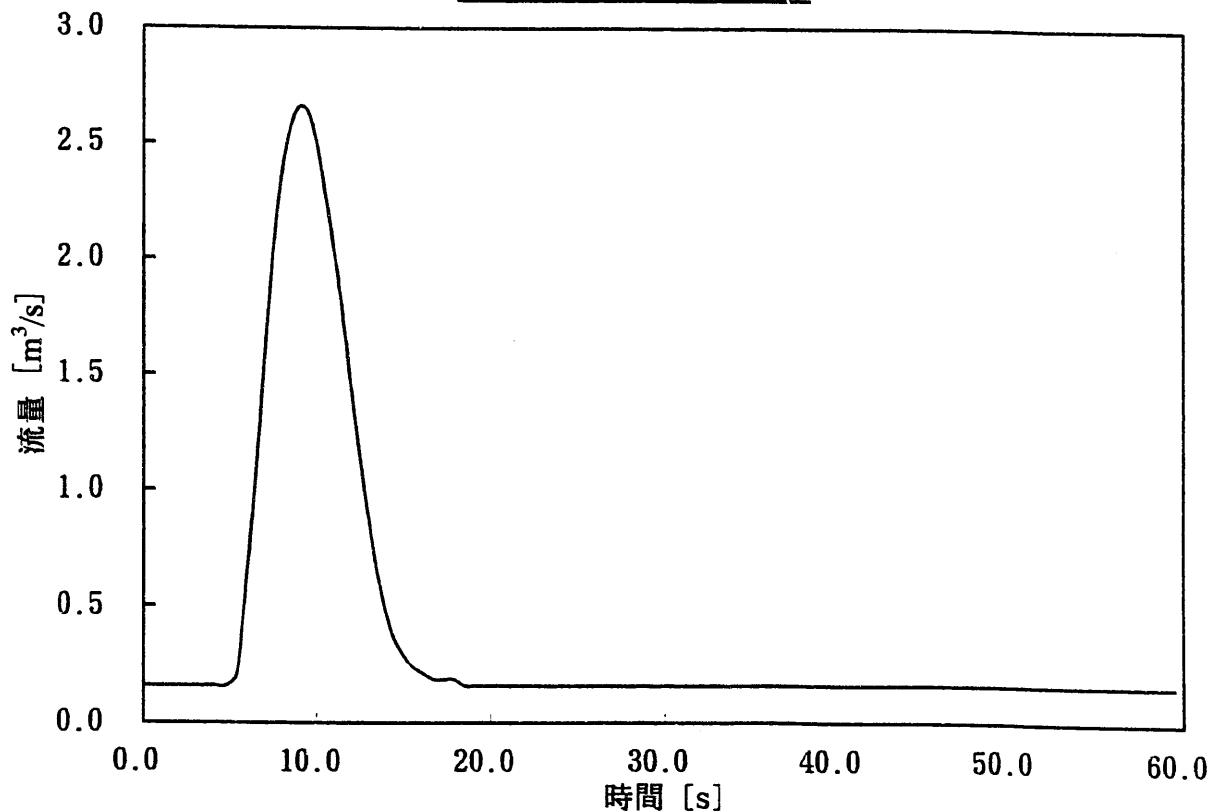


図3.4.2-6 HEPA フィルタチャンバーにおける温度変化

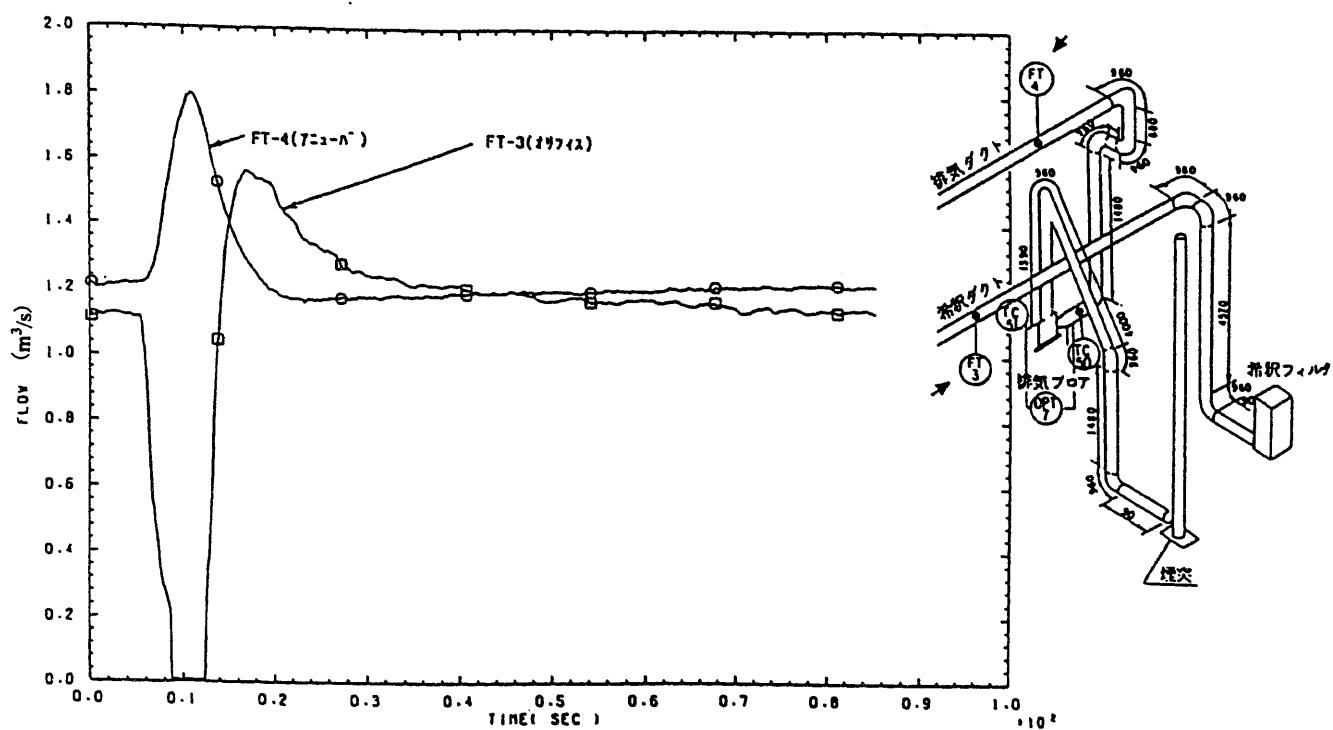
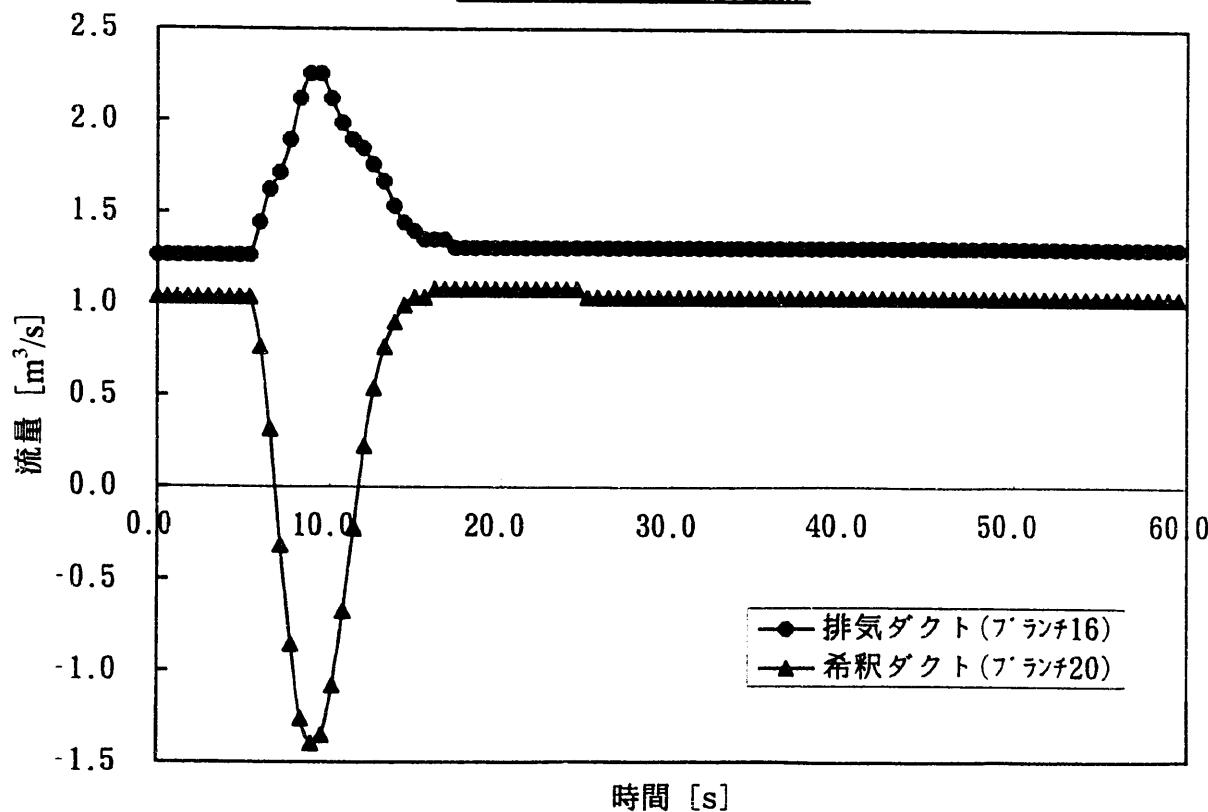
試験データ（流量変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（流量変化図）図3.4.3-1 第2ダクトにおける流量変化

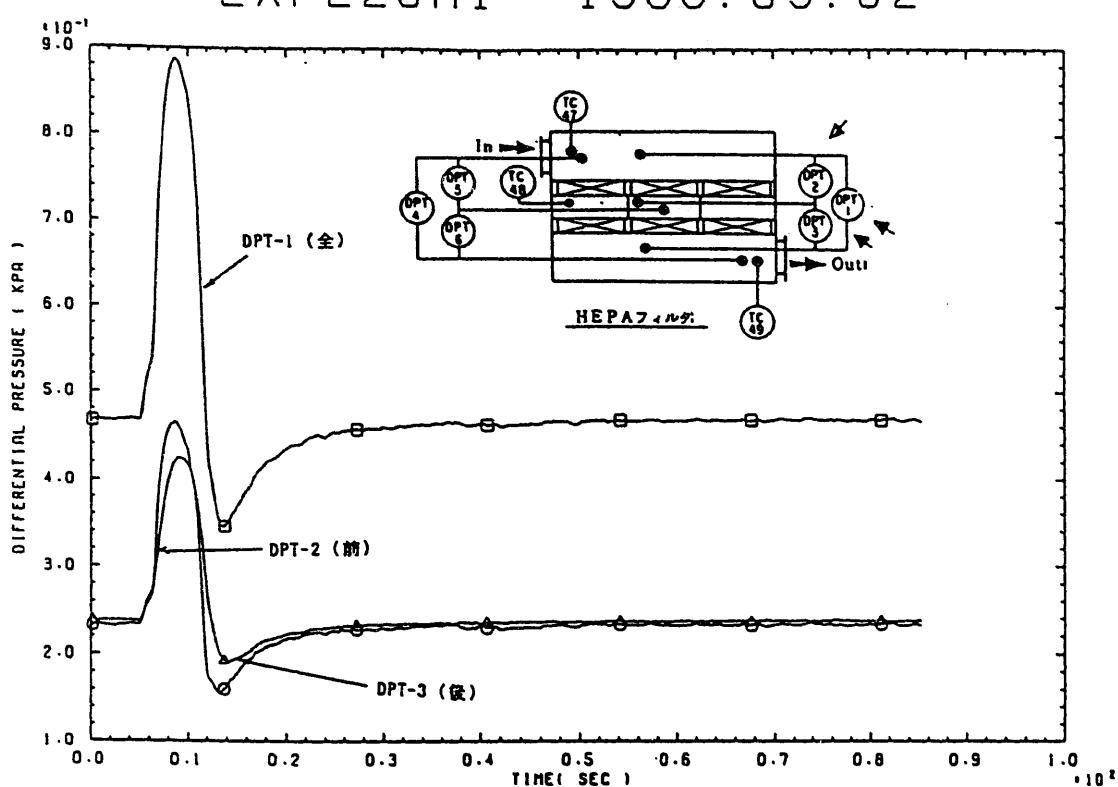
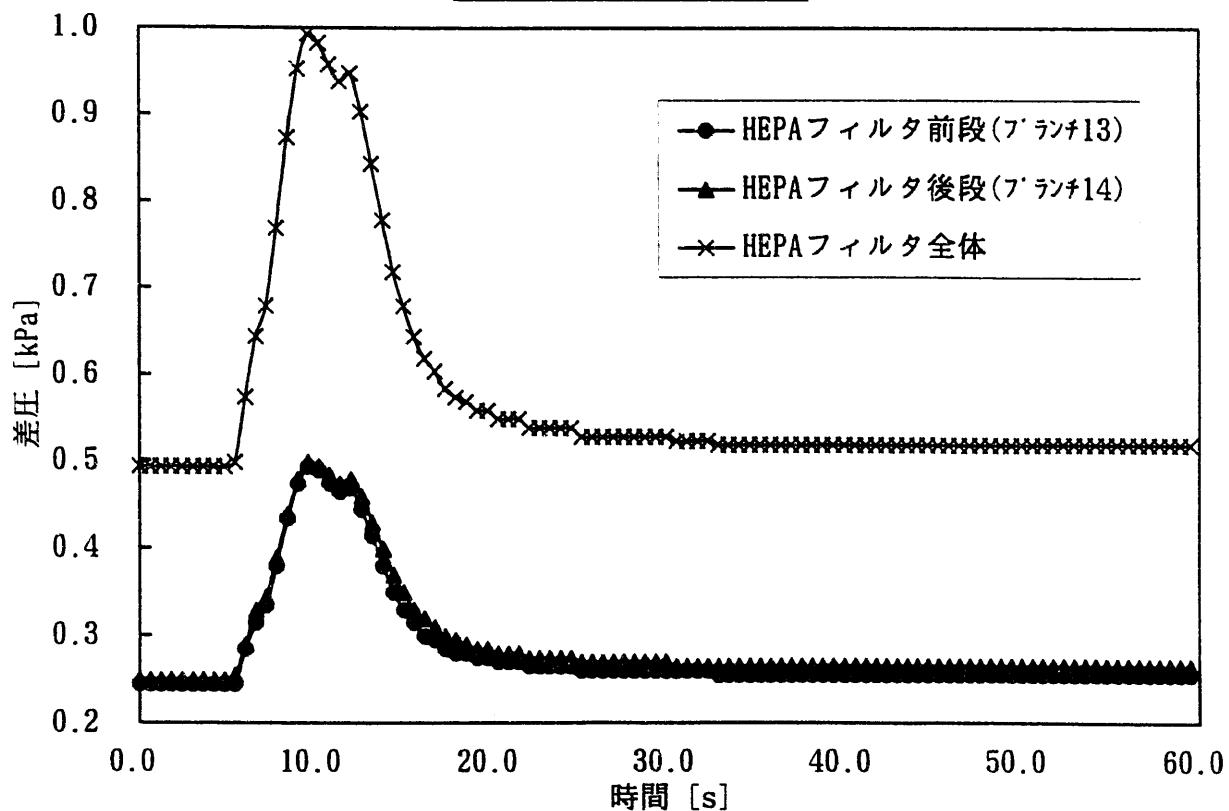
試験データ（流量変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（流量変化図）**図3.4.3-2 排気ダクト及び希釀ダクトにおける流量変化**

試験データ（差圧変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（差圧変化図）図3.4.4-1 HEPAフィルタにおける差圧変化

3.5. 解析モデルの一部変更及びその解析結果

3.5.1. 解析モデルの一部変更

ここでは、前項で実施した解析結果のうち、爆発時の下流側への圧力伝播が第2ダクトの途中から試験結果よりも小さくなることについて、給気及び希釈ダクトへの逆流事象が原因と考え、その逆流を防ぐ措置を検討する。

EVENT84は、質量、エネルギー、運動量の保存式、気体の状態方程式といった純粋な物理化学の基礎式に基づき、爆発時の換気系内の流体の挙動を解析するものであるため、実際のプラントにおける制御機能、例えば、コントロール弁の圧力・温度・流量制御機能やダンパーの逆流防止機能を模擬することはできない。すなわち、ダンパー、弁類は、流れに抵抗を与える要素としてのみ機能するため、逆流が生じ得る箇所にダンパーを設置しモデル化したとしても、完全に逆流が生じないといった解析結果は得られない。

従って、給気及び希釈ダクトへの逆流を防止する(最小限とする)には、当該ダクトの口径を実際のものより小さくして流れに対する抵抗を大きくする、当該ダクトの上流にあるバウンダリノードで加圧し逆流を抑制する、当該ダクトを削除する、といった現状の解析モデルの一部修正で対応するしかないと考え、これらを考慮したモデルをいくつか設定し解析を試みた。

これらのうち、給気及び希釈ダクトの口径を小さくした(実際の200A、600Aに対し、100A、50A、10Aの順に小さくしてみた)モデルでは、初期流量 $558 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $3822 \text{ m}^3/\text{h}$ に対して抵抗が大きくなりすぎて収束エラーが生じ、計算は不可能であった。

一方、バウンダリノードでの加圧を考慮したモデルや、給気及び希釈ダクトを削除したモデルでは、計算は可能だったので、これらのうち一番現実に近いと思われる図3.5.1-1に示す解析モデルに基づき計算した結果を次項以降に記載することとする。

図3.5.1-1に示す修正モデルでは、給気ダクトを削除し、爆発発生元の第1モデルセルに直接接続する給気ダクトへの逆流を防いでおり、また、希釈ダクト上のバウンダリノード(ノード18)において、ミキサー(ノード8)付近での爆発時のピーク圧力に相当する圧力(試験結果より約120kPaとした)を加えてみるとことにより、希釈ダクト方向への逆流を防ぐことを想定している。なお、バウンダリノードでの加圧により生じるノード18とノード8間の初期差圧は、ダンパー(プランチ17)の抵抗として計算上考慮されるため、加圧による系内の初期圧力分布への影響はないものと思われる。

なお、本解析モデルに基づく入力データ(幾何形状データ、各ノードにおける初期圧力)については、解析モデル修正前の入力データと併せて別添-2にまとめて示す。

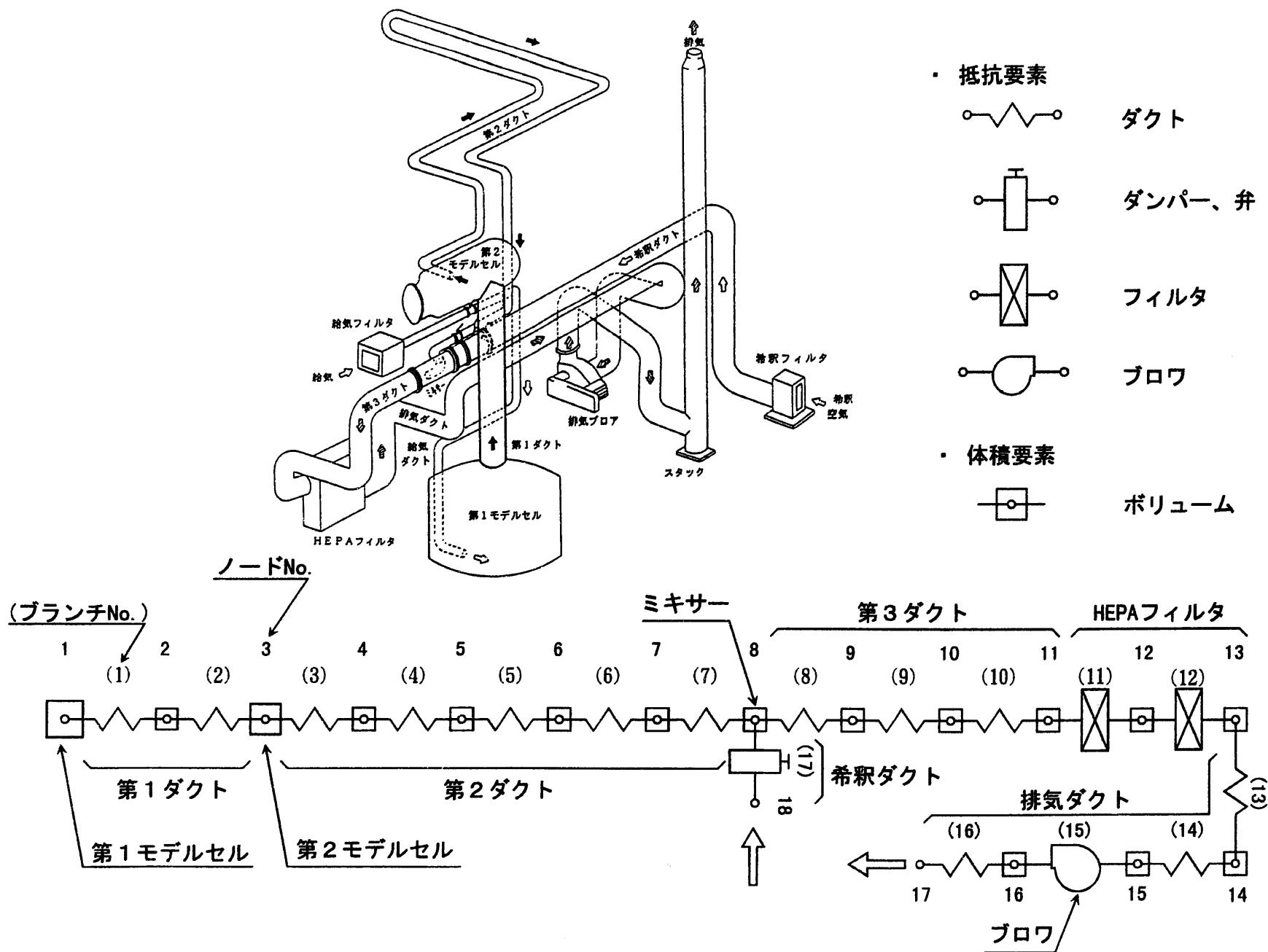


図3.5.1-1 セル換気系実証試験装置の解析モデル（修正モデル）

3.5.2. 解析結果

前項で検討した逆流の効果を確認する修正解析モデルに基づき、大型計算機による解析を実施した。その結果を試験データ及び前回の解析結果との比較も含めて以下に記載する。

(1) 系内各部の圧力変化

図3.5.2-1に、第1、第2モデルセル、第1ダクト及び第2ダクト入口における圧力変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.5.2-2に、第2、第3ダクト及び排気ダクトにおける圧力変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

これらの結果によると、前回の解析結果で指摘した爆発時の下流側への圧力伝播が第2ダクトの途中から試験結果よりも小さくなる事象は見られず、例えば、第2ダクト(ノード7)では、試験結果が約121kPaであるのに対し解析結果が約125kPa、第3ダクト(ノード9)では、試験結果が約112kPaであるのに対し解析結果が約120kPa、第3ダクト(ノード10)では、試験結果が約102.5kPaであるのに対し解析結果が約105kPa、排気ダクト(ノード14)では、試験結果が約102.5kPaであるのに対し解析結果が約103kPa、とすべて解析結果の方が若干高いピーク値を示しており、安全側の評価結果くなっている。

従って、前回の解析結果において圧力伝播が低くなる事象の原因は、給気及び希釈ダクトへの逆流によるものと判断できる。

また、第1モデルセル(ノード1)、第1ダクト(ノード2)、第2モデルセル(ノード3)、及び第2ダクト(ノード4、5、6)における圧力についても、当然、解析結果の方が高いピーク値を示しており、安全側の評価結果が得られている。

(2) 系内各部の温度変化

図3.5.2-3に、第1モデルセルにおける温度変化(解析結果)を、図3.5.2-4に、第1ダクト及び第2モデルセルにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.5.2-5に、第2ダクトにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.5.2-6に、第3ダクトにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.5.2-7に、HEPAフィルタチャンバーにおける温度変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

これらの温度変化については、給気ダクトを模擬していない分、爆発発生後の温度があまり下がらないことを除いては、前回の解析結果とほぼ同様の傾向となった。

いずれにしても、これらの温度変化についても、温度ピークとして試験結果とほぼ同等、またはそれ以上の解析結果が得られているため、安全側の評価になつてい

るものと考える。

(3) 第2ダクト、排気ダクト及び希釈ダクトにおける流量変化

図3.5.2-8に、第2ダクトにおける流量変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を、図3.5.2-9に、排気ダクト及び希釈ダクトにおける流量変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

第2ダクトにおける流量変化については、給気ダクトの削除に伴い爆発前後の流量が $10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$ のオーダーとかなり小さくなるものの、全体の挙動としては前回の解析結果とほぼ同様である。流量のピーク値についても、試験結果が約 $2.5\text{m}^3/\text{s}$ であるのに対し、解析結果が約 $2.6\text{m}^3/\text{s}$ と若干高いピーク値を示しており、安全側の評価結果が得られている。

排気ダクトについても、解析結果の方が試験結果よりも高い流量ピーク値を示している(約 $3.7\text{m}^3/\text{s}$ >約 $1.8\text{m}^3/\text{s}$)。

また、今回の解析では、希釈ダクトへの逆流を防ぐ(最小限とする)ために、希釈ダクト上のバウンダリノード(ノード18)において加圧しているが、これに伴い、希釈ダクト側への逆流は最小限に押さえられていることが分かる(若干逆流は生じているが)。

(4) HEPAフィルタの差圧変化

図3.5.2-10に、HEPAフィルタにおける差圧変化(試験データとEVENT84による解析結果の比較)を示す。

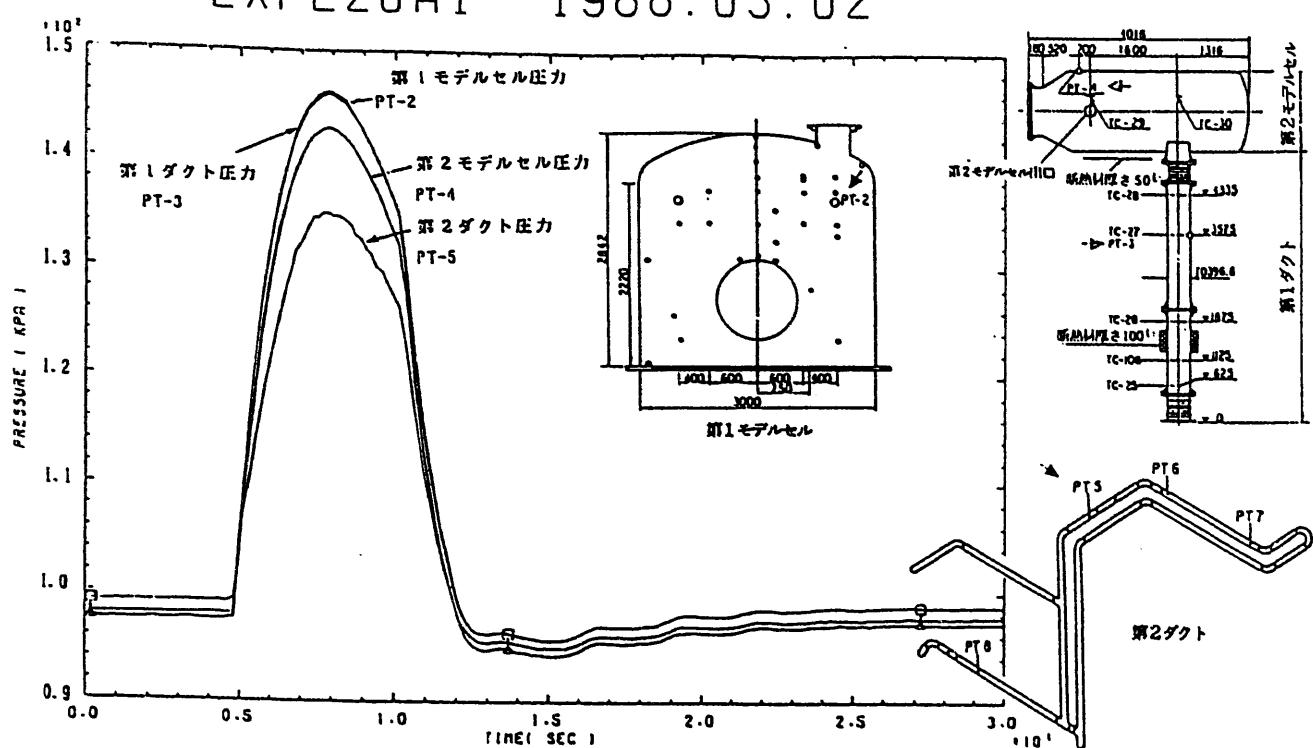
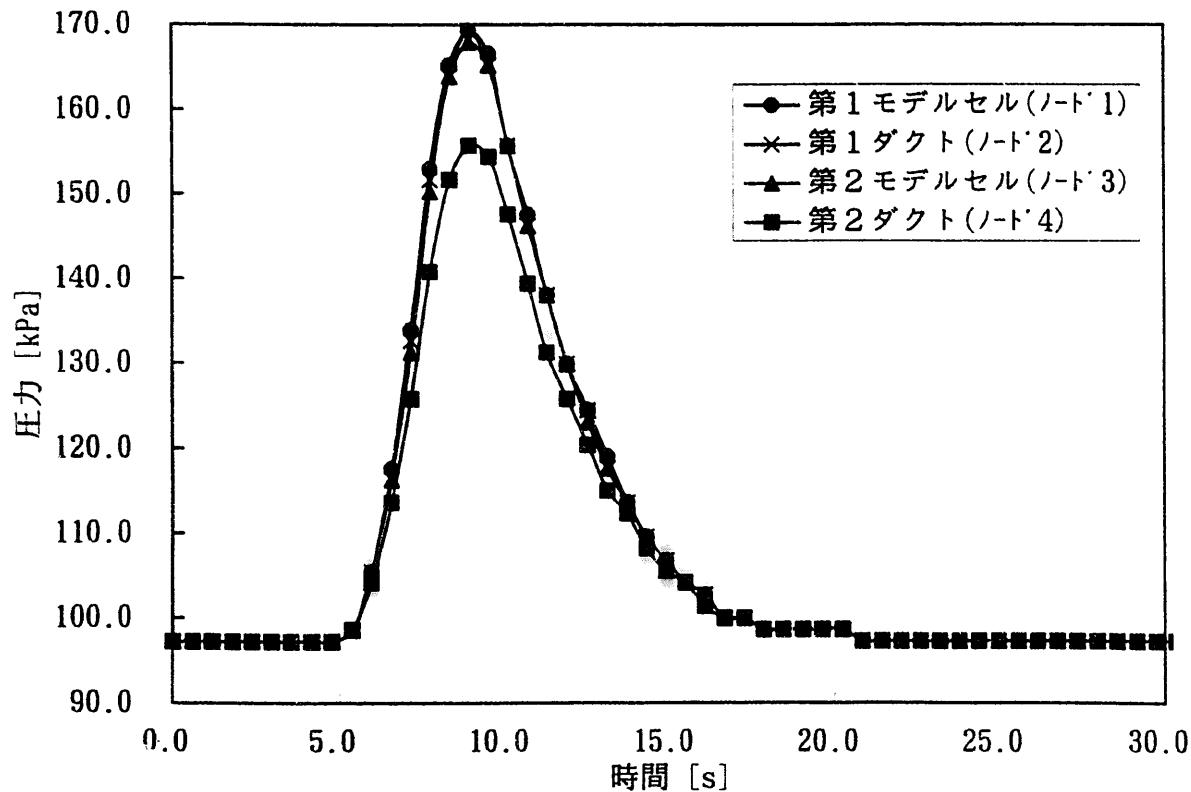
HEPAフィルタの前段及び後段の差圧は、試験結果が約 0.43kPa であるのに対し、解析結果が約 0.9kPa と倍程度高いピーク値を示しており、安全側の評価結果が得られている。HEPAフィルタ全体としても解析結果の方が高い差圧ピーク値を示している。また、差圧変化全体の挙動も比較的よく一致している。

以上、給気及び希釈ダクトへの逆流が生じないように解析モデルを一部修正して、EVENT84による解析を再度実施した結果、前回の解析結果で指摘した爆発時の下流側への圧力伝播が第2ダクトの途中から試験結果よりも小さくなる傾向は解消され、安全側の評価結果が得られた。

また、系内各部の温度及び流量変化、HEPAフィルタ差圧変化についても、前回と同様、安全側の解析結果が得られている。

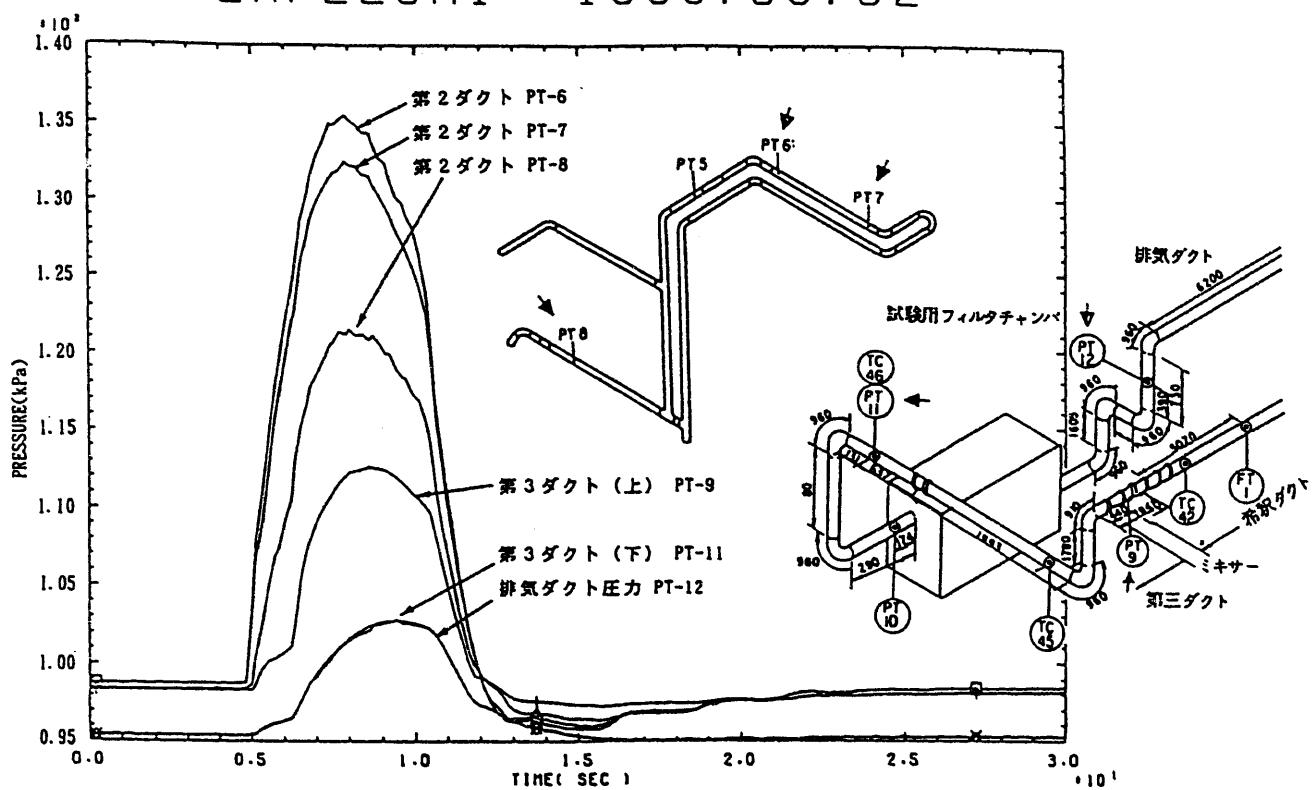
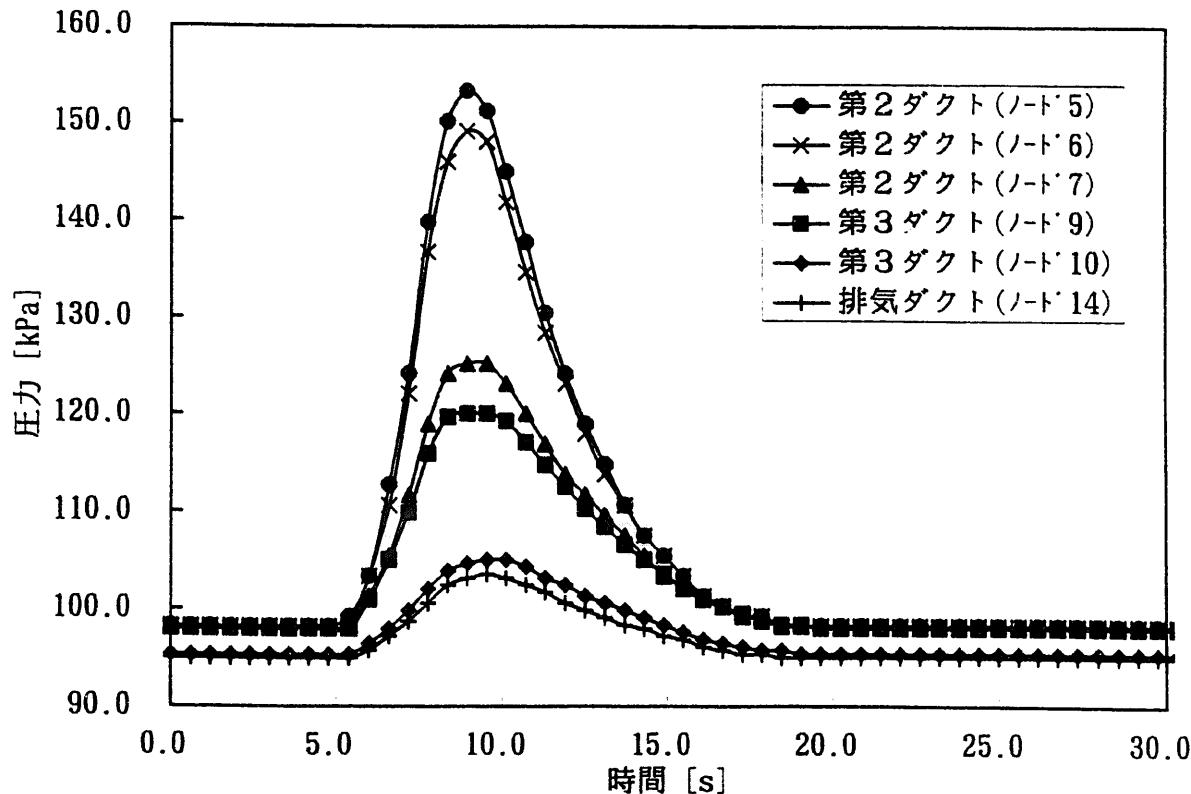
試験データ（圧力変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（圧力変化図）図3.5.2-1 第1、第2モデルセル、第1ダクト及び第2ダクト入口における圧力変化

試験データ（圧力変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（圧力変化図）**図3.5.2-2 第2、第3ダクト及び排気ダクトにおける圧力変化**

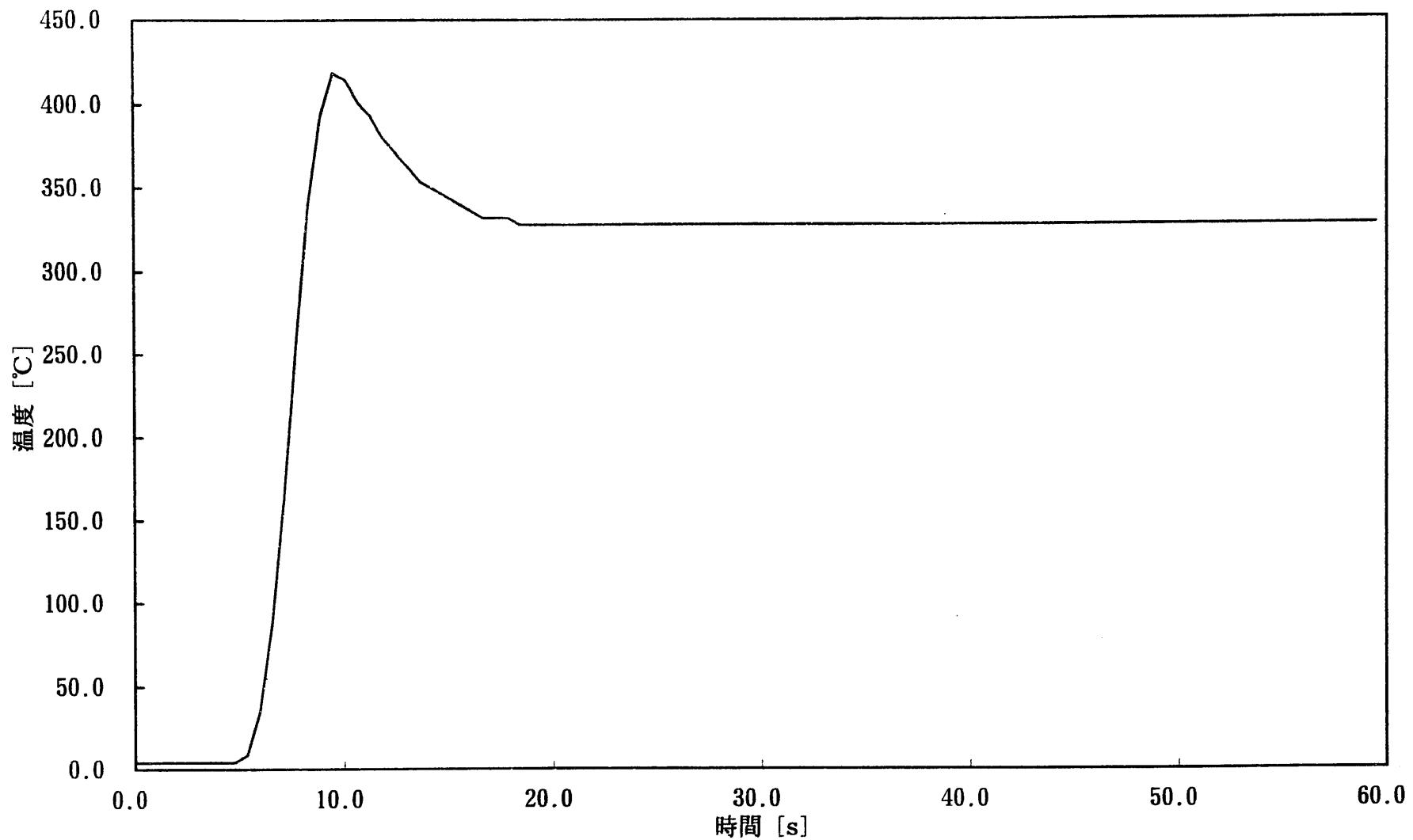
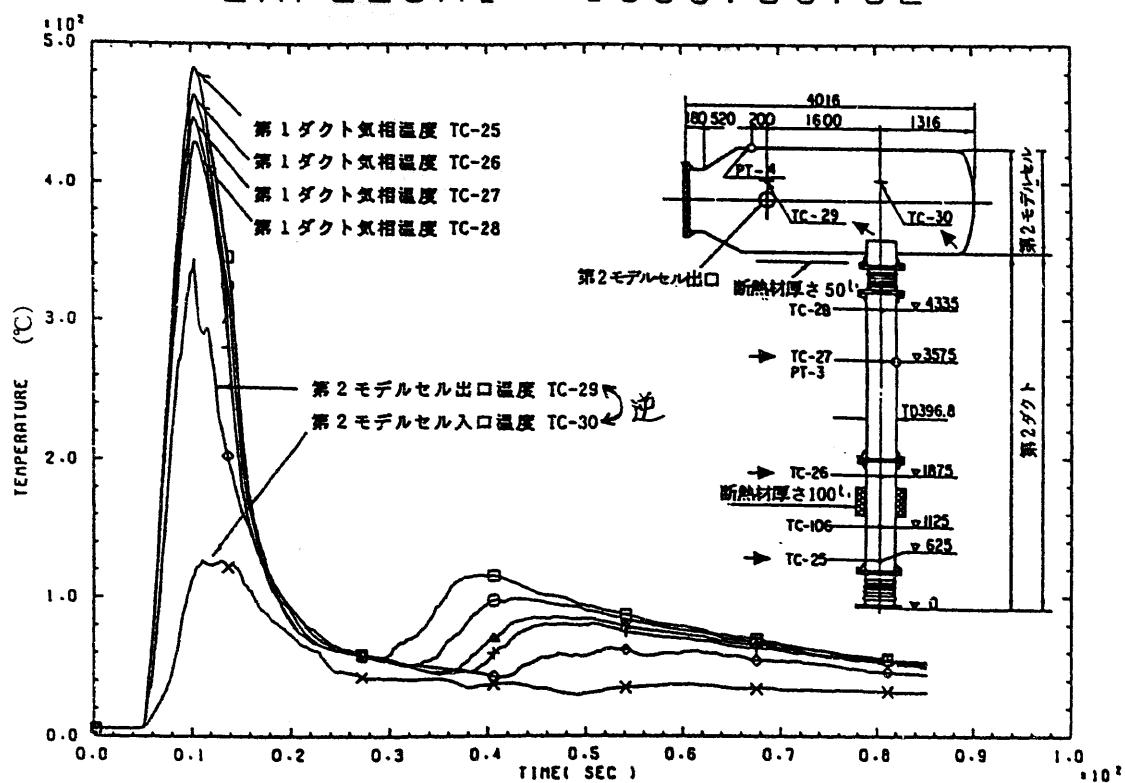
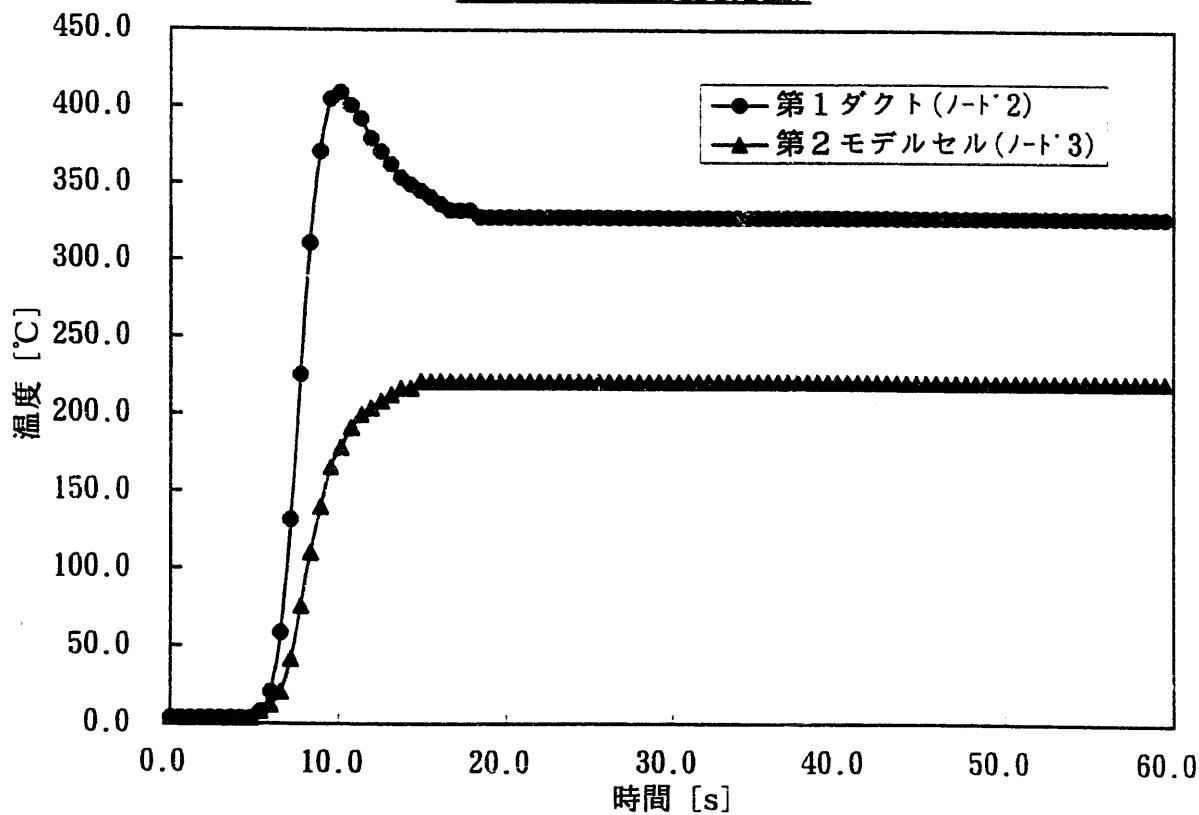


図3.5.2-3 第1モデルセルにおける温度変化（解析結果）

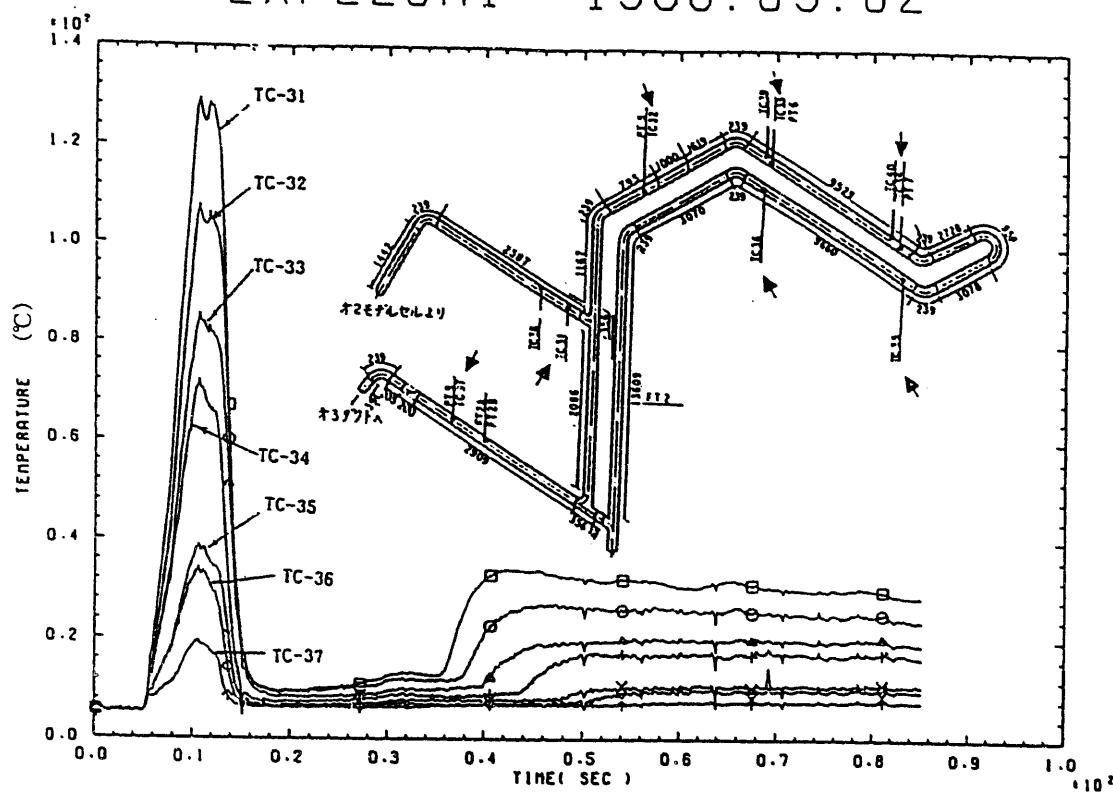
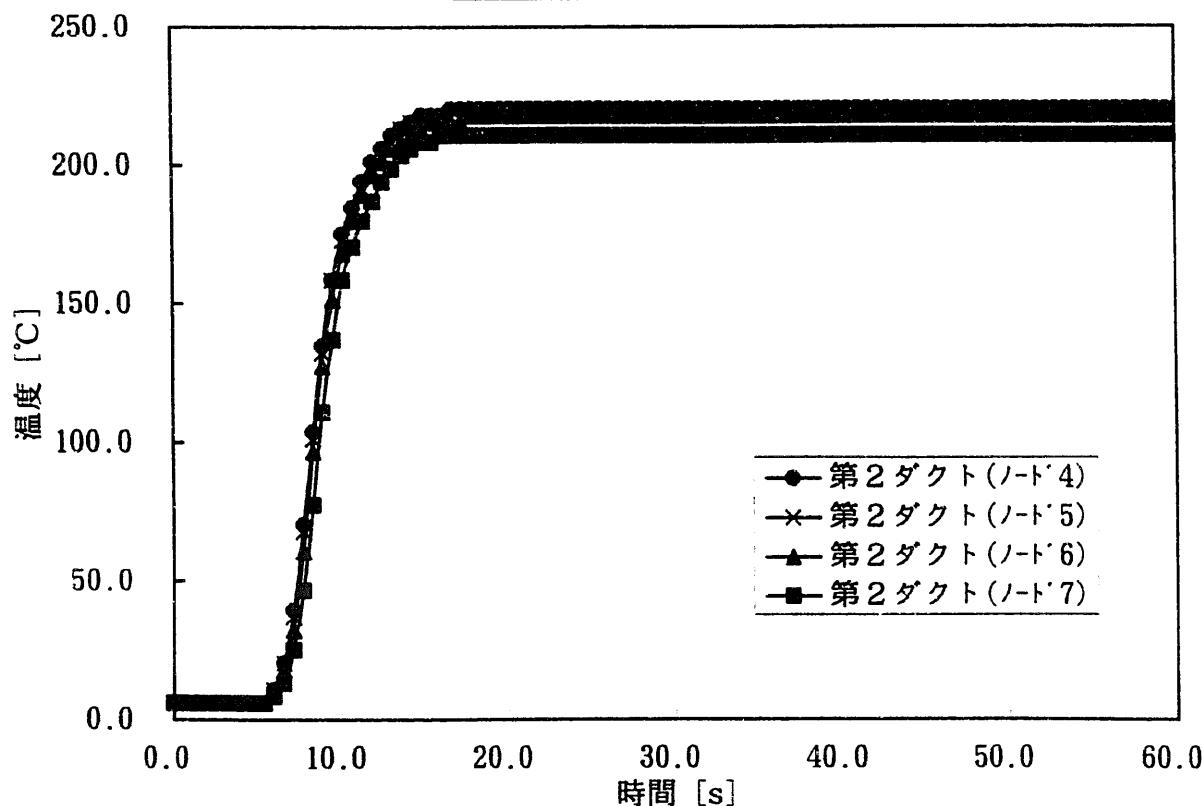
試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（温度変化図）**図3.5.2-4 第1ダクト及び第2モデルセルにおける温度変化**

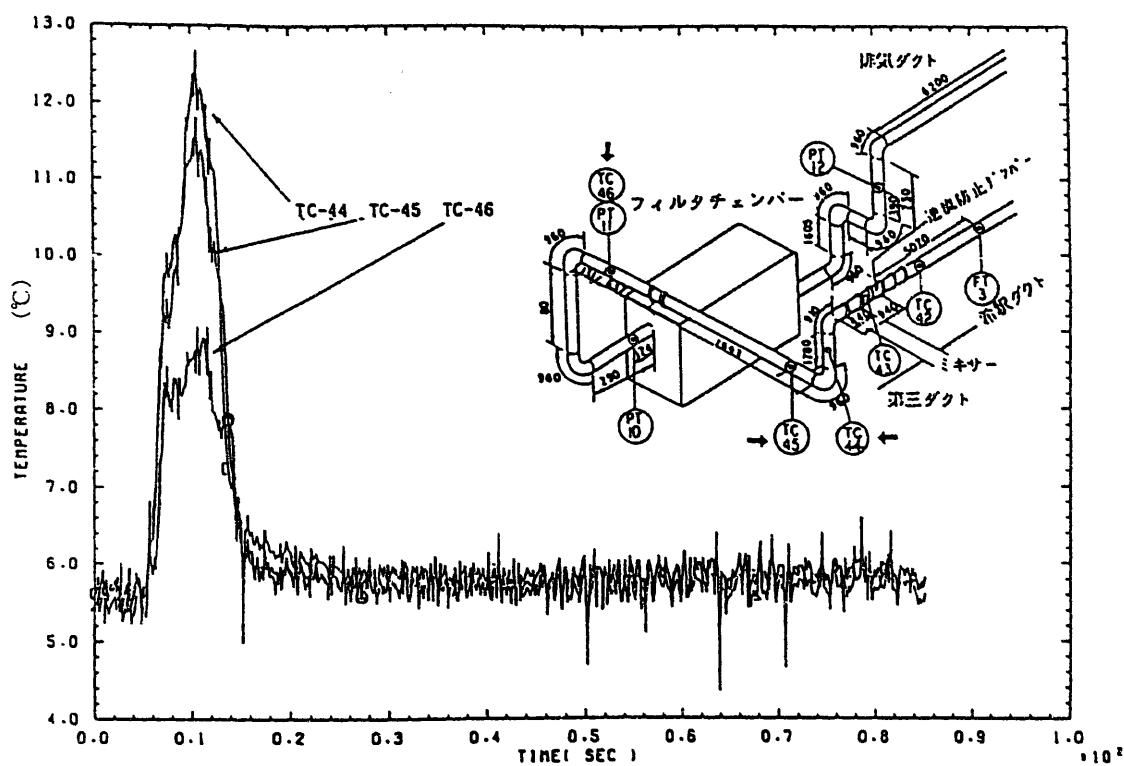
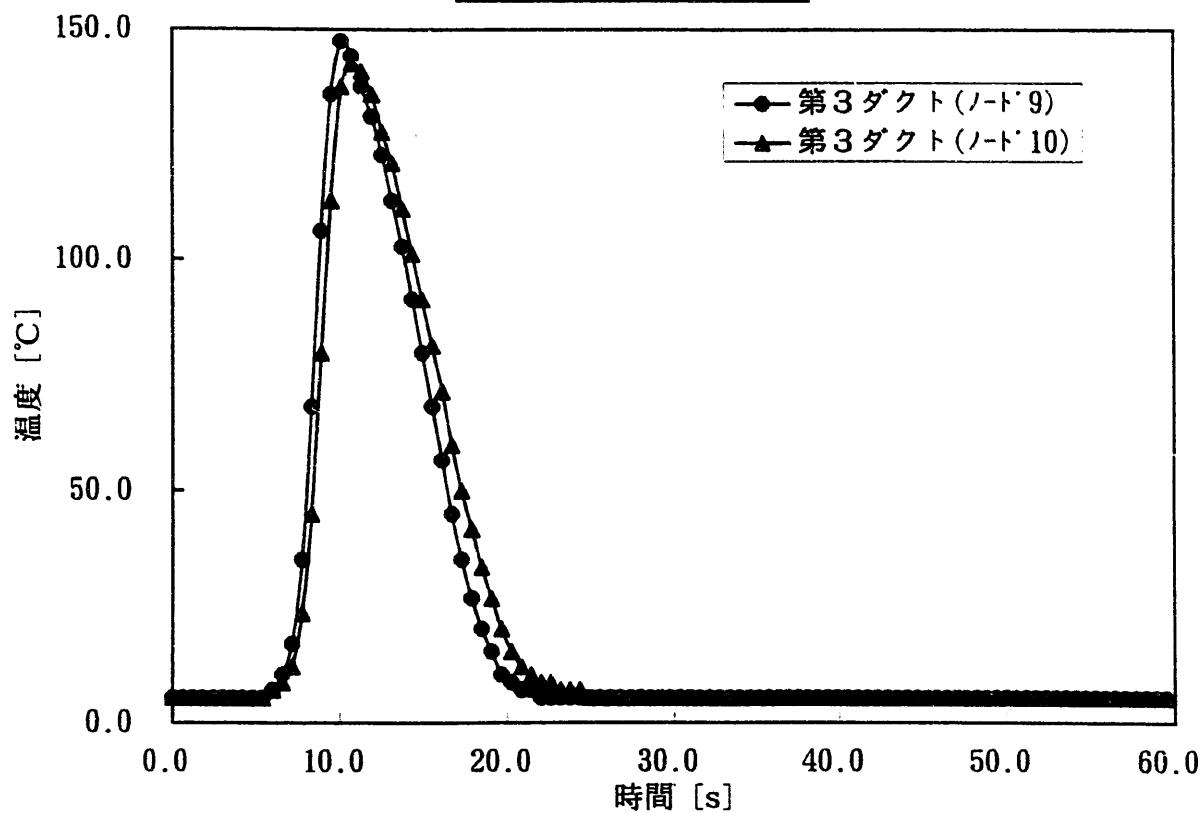
試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（温度変化図）図3.5.2-5 第2ダクトにおける温度変化

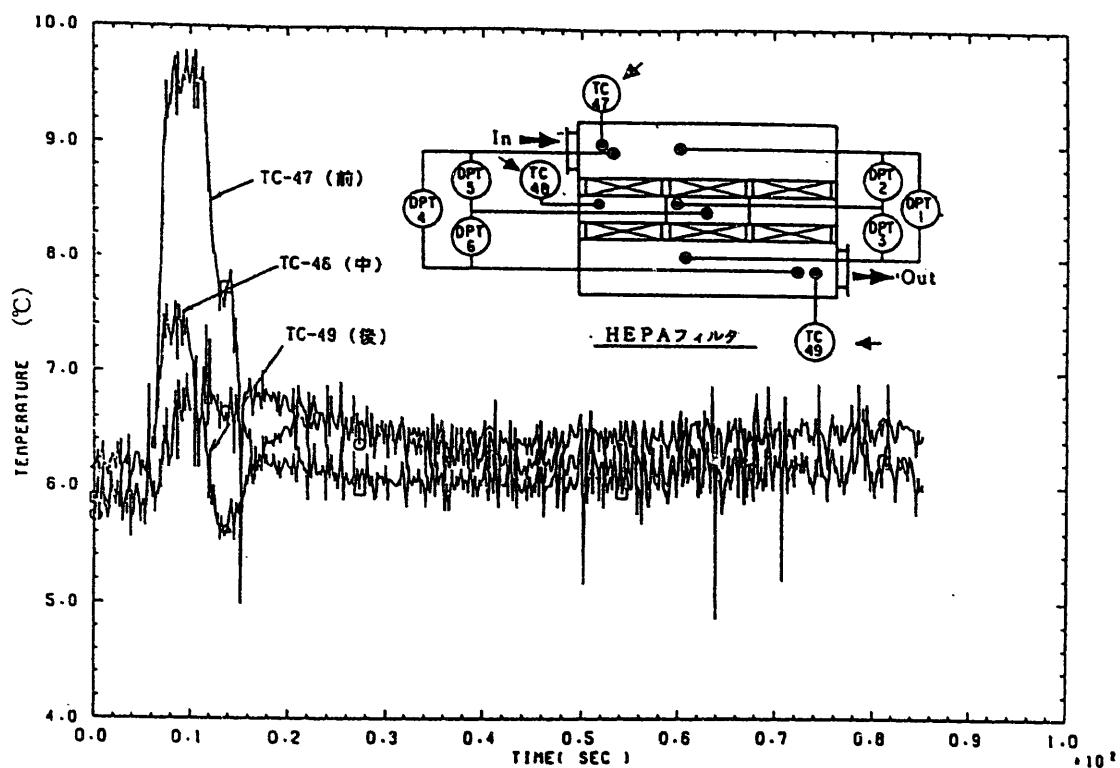
試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（温度変化図）図3.5.2-6 第3ダクトにおける温度変化

試験データ（温度変化図）

EXPL20A1 1988.03.02



解析結果（温度変化図）

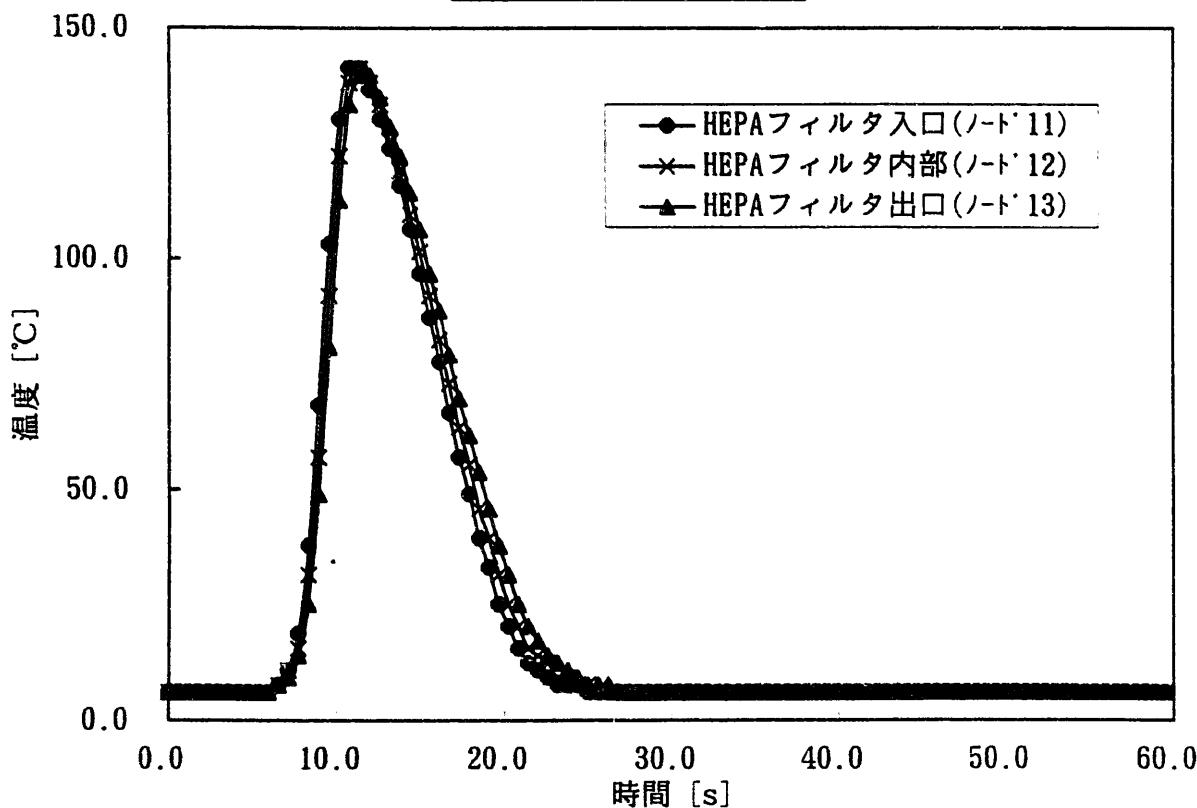
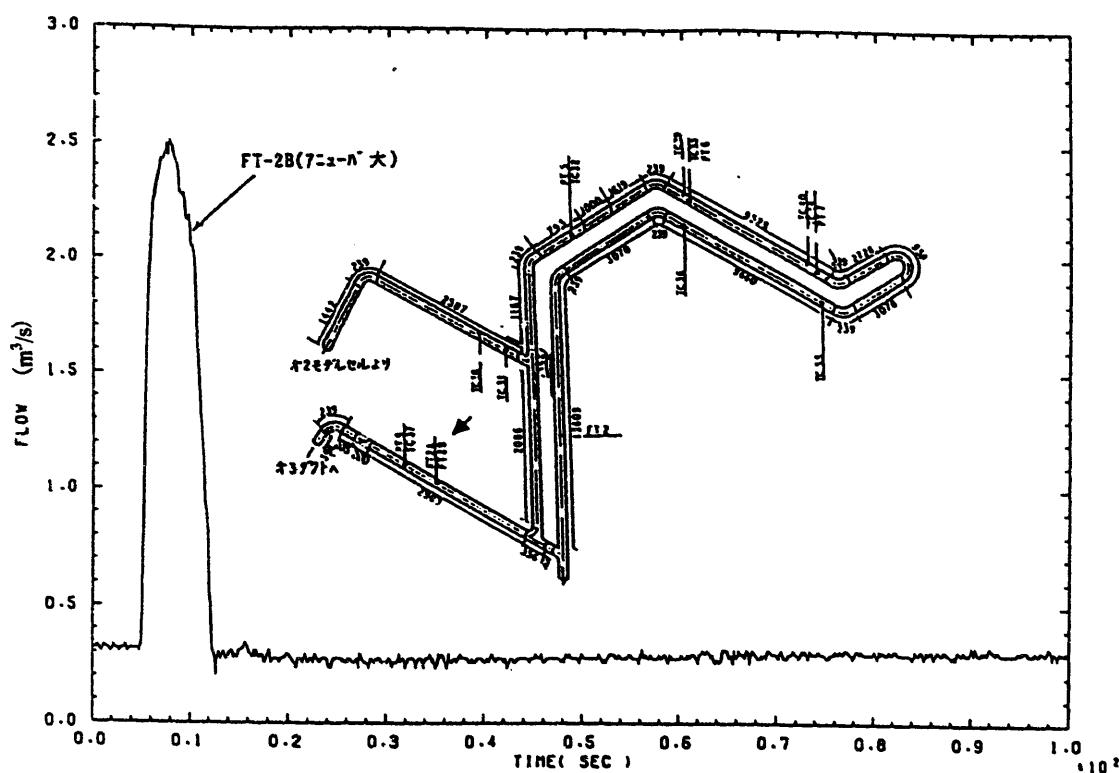
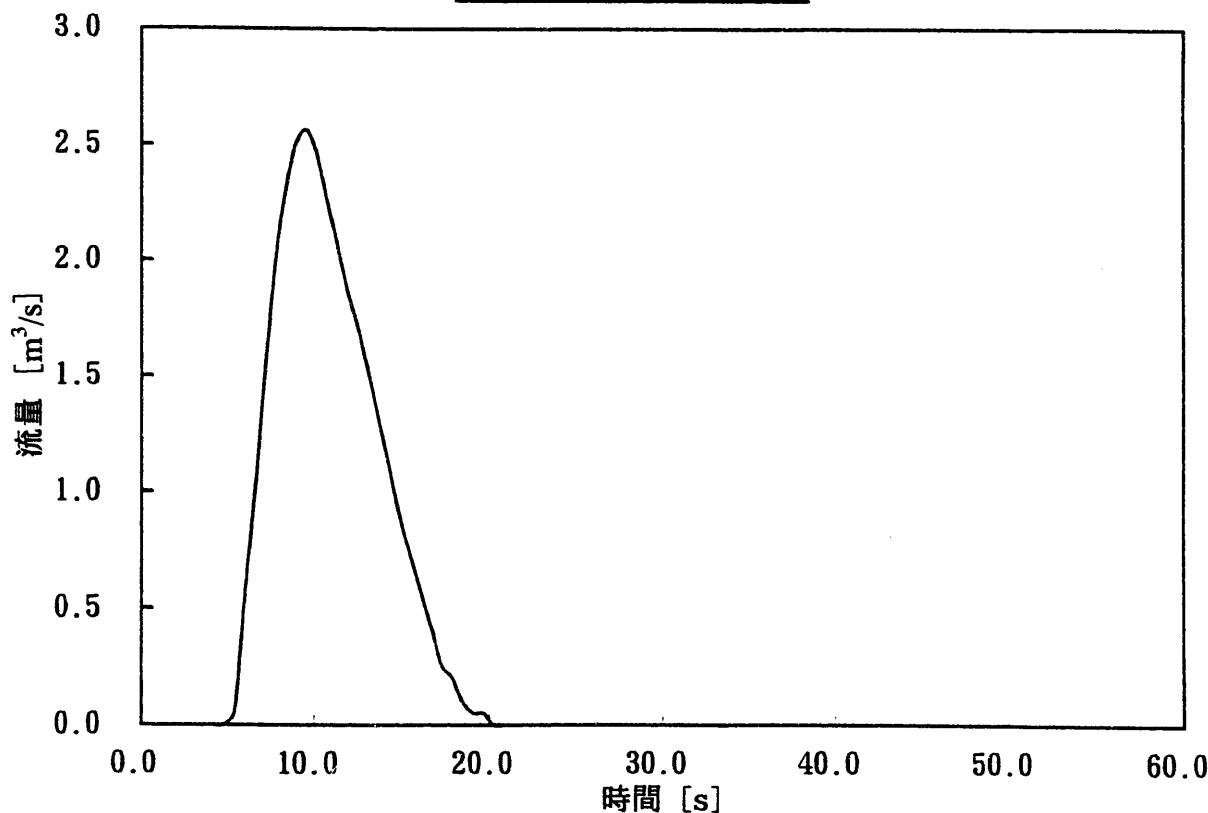


図3.5.2-7 HEPA フィルタチャンバーにおける温度変化

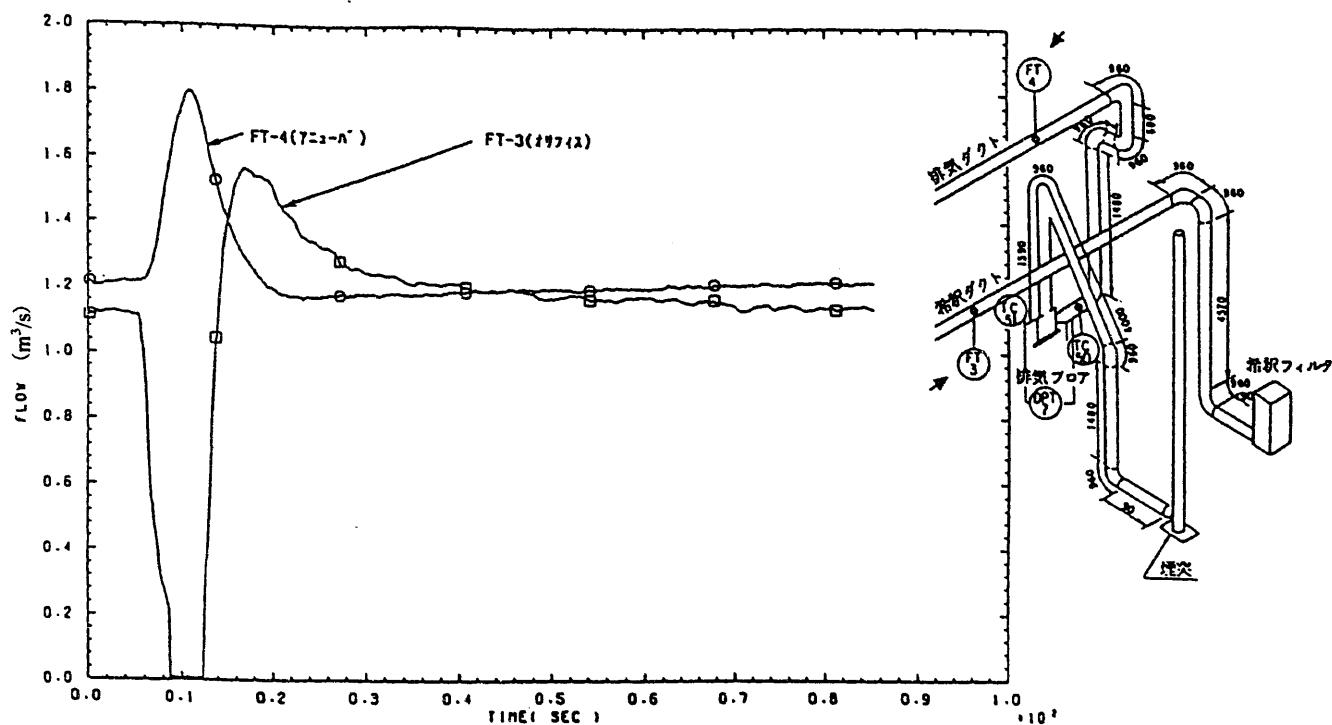
試験データ（流量変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（流量変化図）**図3.5.2-8 第2ダクトにおける流量変化**

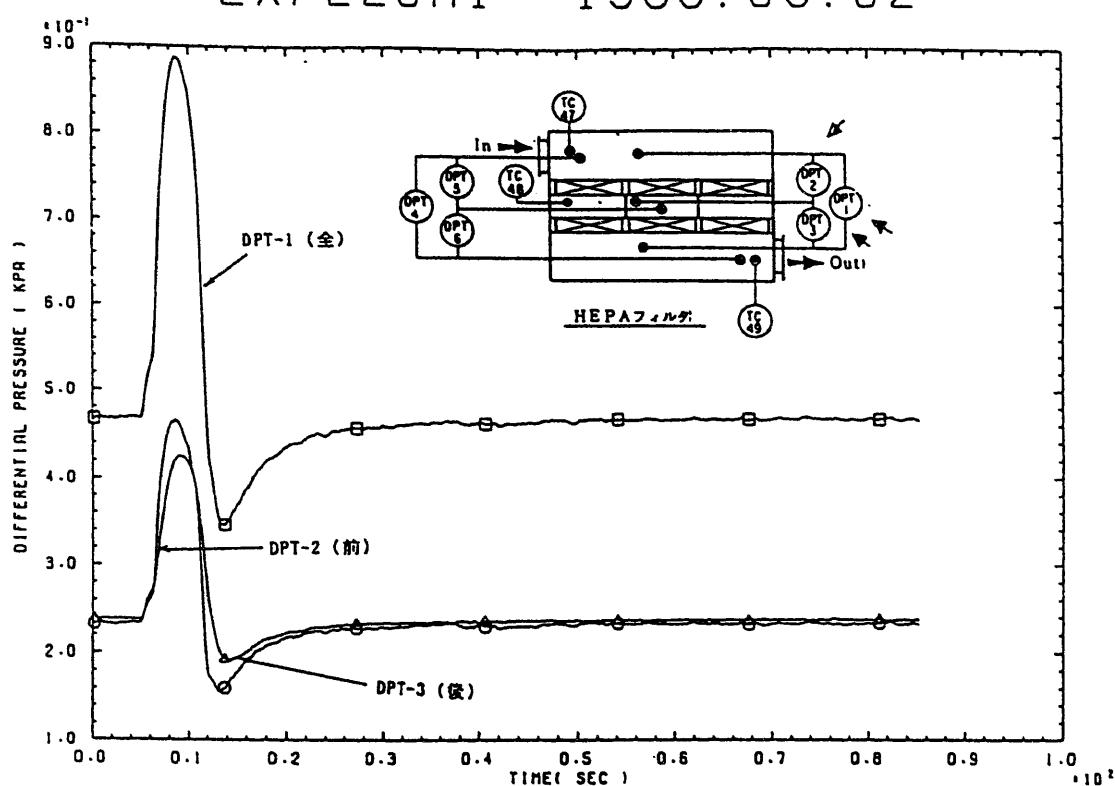
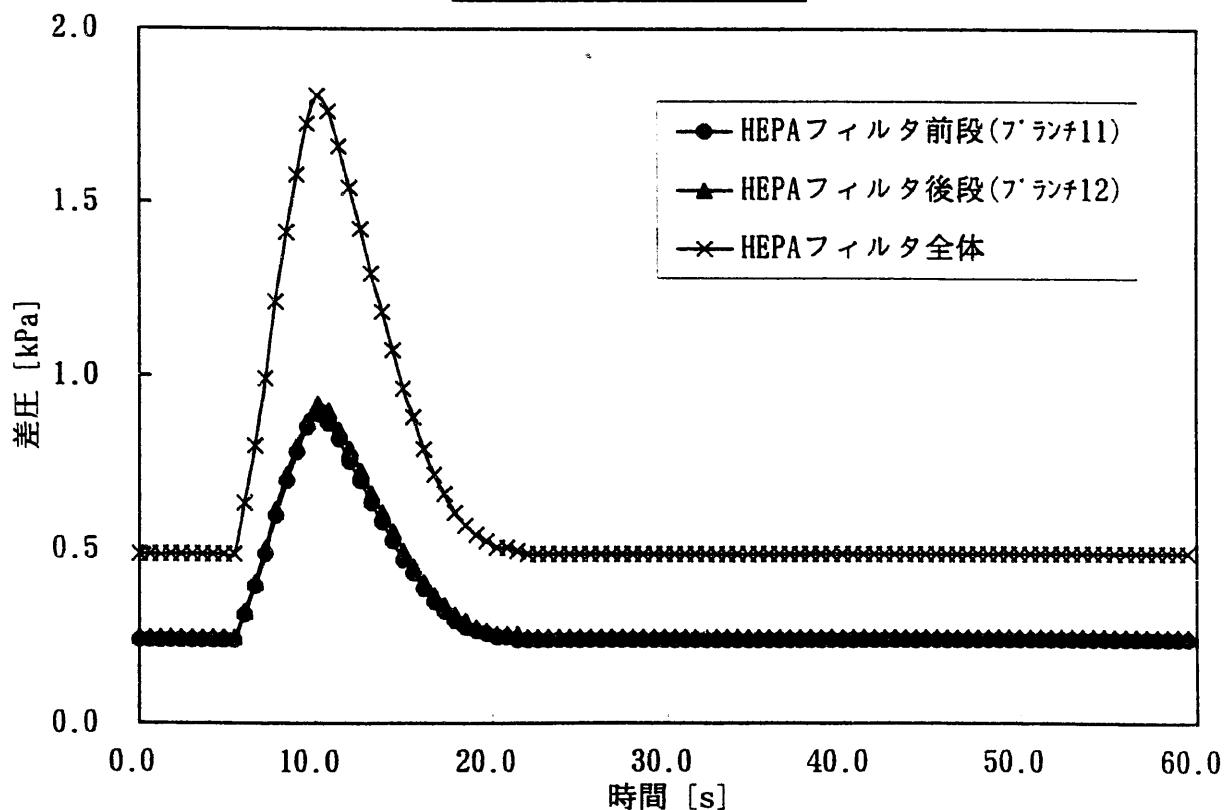
試験データ（流量変化図）

EXPL20A1 1988.03.02



試験データ（差圧変化図）

EXPL20A1 1988.03.02

解析結果（差圧変化図）図3.5.2-10 HEPAフィルタにおける差圧変化

3.6. まとめ

アスファルト固化処理施設の換気系爆発解析に使用する解析コード EVENT84の信頼性を確認するために、原研で実施したセル換気系実証試験の試験データと EVENT 84による解析結果を比較・検証するベンチマーク計算を実施した。

その結果、系内各部の温度、流量変化、HEPAフィルタの差圧変化については、安全側の解析結果が得られたが、圧力変化については、爆発発生時の下流側への圧力伝播が試験結果よりも小さくなる傾向が見られた。そこで、この原因として考えられる給気及び希釈ダクトへの逆流事象を最小限にできる解析モデルへと一部修正し再度解析を試みた結果、当該圧力の低下傾向は解消され、圧力変化についても安全側の評価結果が得られた。

これら解析結果のうち、特に、換気系の解析で一番重要な HEPAフィルタの健全性の確認に必要な HEPAフィルタの差圧、温度が保守側の評価になっていることで、本計算コードの信頼性は十分確保されているものと考える。

4. セル換気系排気ダクトの圧力評価

4.1. 概要

アスファルト固化処理施設における爆発事故時の施設内各部の被害状況のうち、セル換気系排気ダクトに一部破損(ダクトの膨らみやフランジ継手部の外れ)が確認されている。

ここでは、これらダクトの破損状況とダクト各部の圧力解析結果を照合し、事故時の爆発規模(エネルギー)を推定することを目的に、当該換気系の解析を実施した。

具体的には、爆発の発生元と想定されるアスファルト充てん室(R152)またはエクストルーダ室(R151)内の爆発エネルギー(または圧力)をパラメータとして、換気系爆発解析コード EVENT84¹⁾を使用してダクト各部に発生する圧力を計算し、その解析結果とダクトの破壊、非破壊の状況とを照合して、爆発規模の推定を行った。

4.2. セル換気系の概要及び主な被害状況

当該セル換気系排気ダクトの概略経路及びこれまでに判明したダクトの破損箇所の情報を図 4.2-1 にまとめて示す。

各セルからの排気は、地下 1 階から 4 階まで通じるメインダクトに合流後、3 階にある HEPA フィルタ(F19～F28 までの 10 基、1 基は予備)を介して、排風機(K22～K24 の 3 基、1 基は予備)により付属排気筒に送られる。

また、セル給気系については、上流側のグリーン、アンバー各部屋からの排気を逆流防止ダンパーを介して給気しているが、当該逆流防止ダンパーには大きな損傷は見られないことから、爆発時のセル給気側への逆流はないものとして、図 4.2-1 には給気側の系統は示していない(今回の解析対象外とする)。

図 4.2-1 では代表的な破損箇所を丸数字で示してある。主な破損箇所としては、爆発発生元と想定されるアスファルト充てん室(R152)及びエクストルーダ室(R151)近傍(①,⑫)、メインダクト合流部(②,⑤,⑨,⑪)、HEPA フィルタ入口(⑥,⑦,⑧,⑭,⑮,⑯)、2 階分岐ダクト(③,④,⑬)などが挙げられる。これらの特徴として、爆発発生室(R151, R152)から比較的離れた下流側で局所的にダクトに大きな損傷が見られる。特に、コントロールダンパー W106 近傍(④)においては、ダクトの原形が分からないほどの大きな破壊が生じている。

なお、これらダクトの具体的な被害状況については、科技庁事故調査委員会提出資料^{5),6)}に記載の通りである。

記号	被害状況	記号	被害状況
---	健全	X	破損
▽	へこんで変形	○	煤局部付着
△	膨らんで変形	△	折れ曲がり

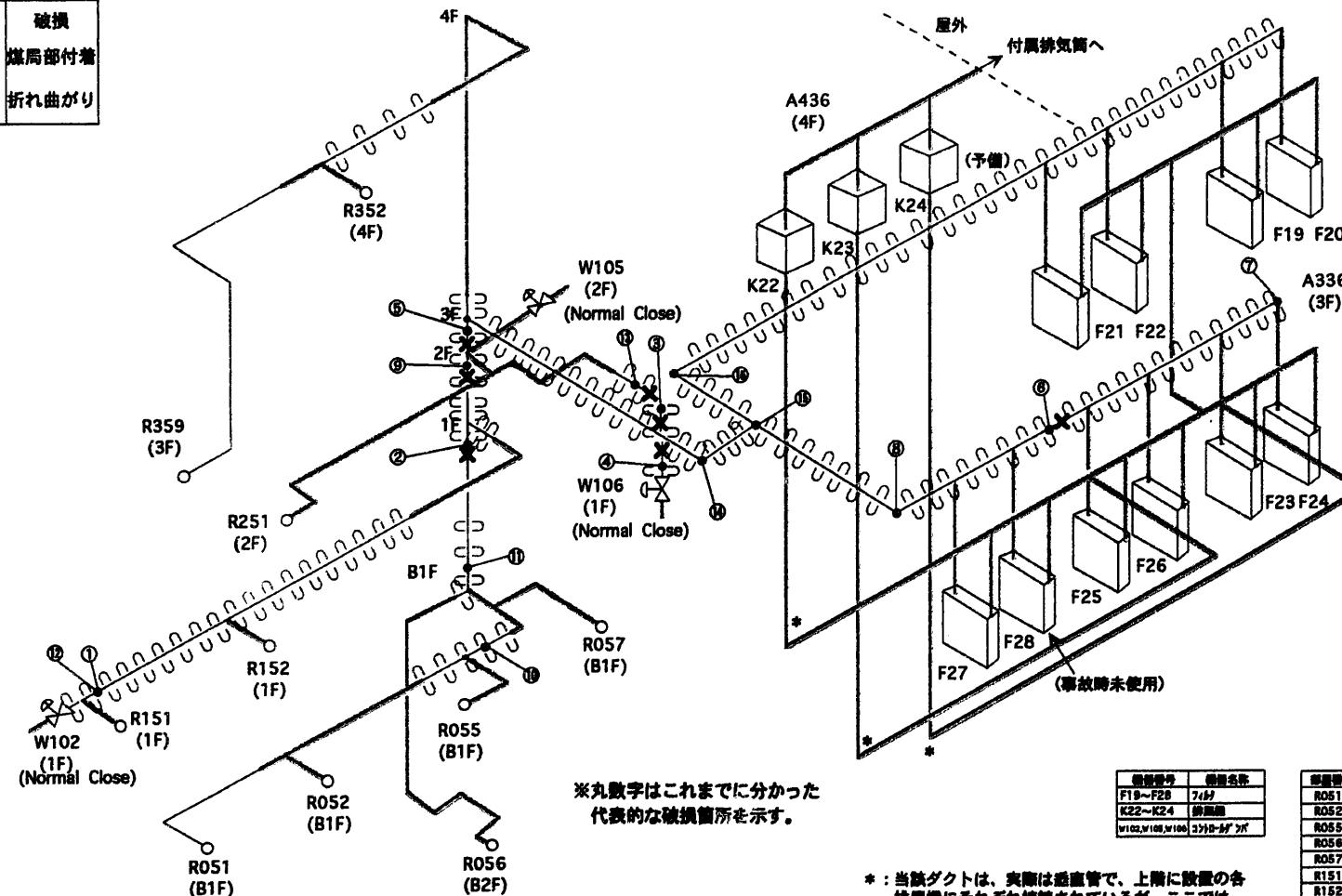


図4.2-1 セル換気系排気ダクト系統図

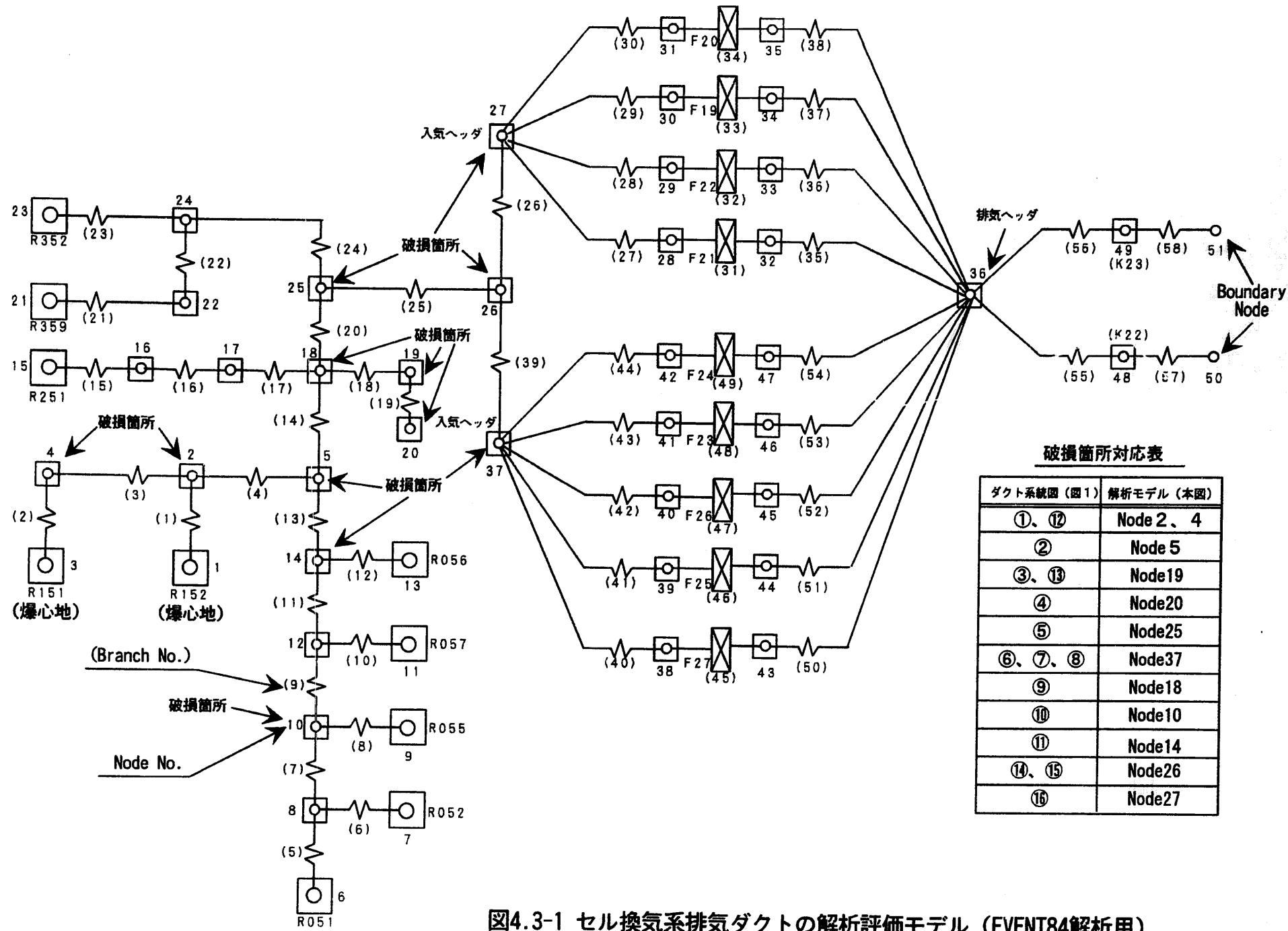
4.3. 解析モデルの概要

当該セル換気系排気ダクトの EVENT84 による解析モデルを図 4.3-1 に示す。各ダクト及び排気フィルタを抵抗要素(ブランチ)とし、各セル及びダクト接続部を体積要素(ノード)として、これらの幾何形状データ、流量及び圧力分布の初期値を設定しモデル化した。なお、排風機(K22,K23)については、爆発時に換気系が停止していることを考慮し、その機能を模擬しないこととする。

作成した入力データを別添-3 にまとめて示す。なお、これら入力データは、基本的には、前章(3 章)と同様の手法により作成したものであり、その概要は以下の通り。

- ・ セル換気系排気ダクトデータ： ダクトの幾何形状データ。ダクト施工図等の設計図書を基に設定。
- ・ セル換気系排気ダクト 幾何形状データ： 上記ダクトデータを EVENT84 入力用に単位換算しました。なお、各ブランチの初期流量は設計風量とした。(実際には、最初の火災により排気フィルタが目詰まりを起こし、セル換気系が停止しているため、爆発直前は換気系に流れは生じていないと思われるが、EVENT84 による解析では、与えられた初期流量及び初期圧力分布(または初期差圧)を基に各ブランチの抵抗係数をコード内部で計算・設定するため、初期流量の入力が不可欠であり、従って、設計風量を入力することとした。)
- ・ セル換気系排気ダクトにおける圧力損失の計算： 初期流量(設計風量)時の各ダクトの圧力損失を計算しました。なお、ブランチ 57、58 のデータには、最初の火災時に閉となった排風機出口のダンパーを開けるのに必要な圧力を、圧損(約 75 mmAq)として入力している。
- ・ セル換気系排気ダクト 各ノードにおける初期圧力の設定： 上記ダクトの圧力損失値及び排気フィルタの圧力損失値を基に、バウンダリノードで大気圧として、系内各部の初期圧力分布を設定しました。なお、排気フィルタについては、最初の火災で目詰まりを起こし差圧がかなり大きくなり、排風機が起動できない状態となったことから、排風機の静圧(365 mmAq)以上の負荷が生じていると考え、当該排気フィルタの差圧を 400 mmAq と仮定した。

これらの入力データを基に、まず、(1)アスファルト充てん室(R152)またはエクストルーダ室(R151)内の爆発エネルギーをパラメータとした解析を実施し、どの程度の爆発エネルギーで排気ダクトに破損が起こるかを確認し、更には、(2)アスファルト充てん室(R152)またはエクストルーダ室(R151)内の圧力変動を入力とする解析を実施し、その圧力変動が排気ダクト内の圧力にどのような影響を及ぼすかを確認することとする。



4.4. 解析結果

4.4.1. 爆発発生室内の爆発エネルギーをパラメータとする解析

ここでは、爆発発生元と想定されるアスファルト充てん室(R152)またはエクストルーダ室(R151)内の爆発エネルギーをパラメータとして解析を実施し、どの程度の爆発エネルギーで排気ダクトに破損が起こるかを確認する。具体的には、爆発発生室(R151、R152)から比較的離れた箇所で局所的にダクトに大きな損傷が見られること、例えば、コントロールダンパー W106 近傍(図 4.2-1④の箇所)でダクトが全壊していることに着目し、一番被害が大きい当該箇所において、その破壊に必要な圧力から、爆発エネルギーを推定することとする。爆発事象は、TNT 10、50、100、150、200 kg に相当するエネルギーを 0.1 秒間にわたりパルス状に放出することで模擬することとする(R151 を爆発発生元とした場合は TNT 10、50、100 kg の 3 ケースについて解析する)。なお、TNT の発熱量は 1146 kcal/kg⁷⁾ とする。

これらの解析結果(各ノードにおけるピーク圧力)を表 4.4.1-1 にまとめて示す。また、参考までに、TNT 50 kg 相当のエネルギーを R151 で放出した場合の代表的な評価点における圧力の経時変化を図 4.4.1-1 に示す。

R152 を爆発発生元とした解析(ケース 1~5)においては、全体的にはダクト下流側への圧力の低下傾向は見られるものの、その程度は小さく、ダクト間でほとんど圧力差のない箇所も見られた。このような傾向が見られるのは、爆発発生室(R152)が奥行のある比較的大きな空間を有しているため、爆発に伴う R152 内での圧力伝播が比較的遅くなり圧力も緩やかに上昇し、これに伴い下流側ダクトへも比較的緩やかに圧力が伝播される(幅の広い圧力ピークとなる)ことが原因と考えられる。

一方、R151 を爆発発生元とした解析(ケース 6~8)では、比較的ダクト間で圧力差が見られ、特に、ダクト全壊箇所(Node 20)に生じた圧力は、メインダクト(Node 18)と比較して、1.1~1.4 倍程度の圧力上昇となっていることが分かる。この傾向については、爆発発生室(R151)が比較的コンパクトな構造(R152 の 1/6 程度の空間容量)であるため、爆発に伴う圧力上昇が下流側に比較的即座に伝播しやすいことが原因として考えられる。

ここで、当該ダクトの破壊に必要な圧力の評価結果を、評価方法と共に別添-4 にまとめて示す。これによると、ダクト全壊箇所、例えば、コントロールダンパー W106 近傍(図 4.2-1④の箇所)において、ダクト破壊に必要な圧力は 0.53~0.70 kgf/cm²G 程度である。一方、R152、R151 を爆発発生元とした解析では、それぞれ、TNT 150 kg 程度、TNT 50 kg 弱の爆発エネルギーで、上記破壊圧力を超える内圧が当該ダクト(Node 20)に伝播されるという解析結果が得られている。すなわち、ダクトの損傷が一番大きい箇所の破損情報から判断すると、爆発エネルギーは、爆発発生元を R152 とした場合、TNT 150 kg 程度で、爆発発生元を R151 とした場合、TNT 50 kg 弱と想定さ

れる。

しかしながら、当該爆発エネルギーでは、非破壊箇所、例えば、Node 8、12、16、17においても破壊圧力を超えてしまい(破壊が生じてもおかしくはない)、また、爆発発生室近傍ダクト(Node 2,4)の圧力は、ダクト全壊箇所(図 4.2-1④)よりも大きな圧力となり、破壊圧力を超えているにもかかわらず、その損傷程度は小さい(ダクトに膨らみは見られるものの全壊はしていない)。このような爆発発生室近傍ダクトの圧力が一番大きくなる傾向は、すべての解析結果において見られる。

4.4.2. 爆発発生室の圧力変動をパラメータとする解析

これまでの解析においては、爆発事象の模擬について、爆発エネルギーをパルス状に単一ピークで与える方法で行ってきたが、この方法では、爆発発生室(R151、R152)から比較的離れた箇所で局的にダクトに大きな損傷が見られる傾向は再現できなかった。

そこで、爆発時にアスファルト充てん室(R152)またはエクストルーダ室(R151)に直面するハッチ、扉が破壊されることにより、R152、R151 内の圧力挙動が複雑に変動することを想定し、すなわち、密閉空間内での爆発発生後に一部開口が生じた場合に圧力挙動が変化することに着目し^{8),9)}、これらを考慮した R152、R151 内の圧力変動を与えてみるとことにより、被害状況とどの程度照合するか、ダクト内でのピーク波の干渉により局的な圧力の上昇を引き起こし得るかを確認することを目的に解析を行うこととする。

具体的には、別添-5 に示すような圧力挙動、すなわち、爆発後の開口発生により、爆発発生室内に、第 1 の圧力ピーク、第 2 の圧力ピーク(更には第 3 の圧力ピーク)が生じることを想定し、以下に示す通り、様々なパターンの圧力挙動を設定して、これらを模擬・入力することにより、ダクト全壊箇所(図 4.2-1④)において局的な圧力上昇を引き起こす爆発条件をサーベイすることとする。

(1) 爆発発生箇所 : R152

想定する圧力挙動： 2 ピーク、3 ピーク。ピーク幅、ピーク深さを変えた計算も実施。

(2) 爆発発生箇所 : R151

想定する圧力挙動： 2 ピーク。ピーク幅、ピーク深さを変えた計算も実施。

(3) 爆発発生箇所 : R151 及び R152

想定する圧力挙動： R151、R152 同時爆発(1、2 ピーク)。R152 での時間遅れを考慮した計算も実施。

これらの解析結果(各ノードにおけるピーク圧力)を、想定した圧力挙動と共に表4.4.2-1にまとめて示す。また、代表的な評価点における圧力の経時変化の例を図4.4.2-1に示す。これらのうち、ダクト全壊箇所(図4.2-1④)において圧力が局的に上昇する傾向が見られたケースとしては、

- R152 を爆発発生元とした解析では、圧力挙動を 2 ピークで与え、そのピーク谷の位置を深くした(ピーク圧力の 1/8 の位置とした)場合(ケース 5)に、ダクト全壊箇所(Node 20)での圧力上昇は最大となり、メインダクト(Node 18)と比較して 1.4 倍以上となる。
- R151 を爆発発生元とした解析においても同様に、圧力挙動を 2 ピークで与え、そのピーク谷の位置を深くした(ピーク圧力の 1/8 の位置とした)場合(ケース 12)に、ダクト全壊箇所(Node 20)での圧力上昇は最大となり、メインダクト(Node 18)と比較して、1.4 倍以上となる。

などが挙げられる。すなわち、爆発発生室(R151、R152)内で、鋭い圧力ピークと深いピーク谷を有するような大きな圧力変動が生じた場合、ダクト内のピーク波の干渉などによりダクト下流側での局的な圧力上昇は起こり得ることが分かった。

その他の解析ケース、すなわち、爆発発生室を変更した(R152 単独、R151 単独、R152・R151 同時爆発)場合、圧力ピーク幅を変更した場合、圧力挙動を 3 ピークとした場合、R152 での時間遅れを考慮した場合では、圧力伝播挙動に有意な差はなく、ダクト下流側での局的な圧力上昇傾向は見られなかった。

また、すべてのケースにおいて、ダクト全壊箇所(Node 20)の圧力よりも、爆発発生室近傍ダクト(Node 2,4)の圧力が大きく(同時爆発の場合は 3 倍程度大きくなる)、前項で実施した解析結果(爆発エネルギーをパルス状に单一ピークで与えた場合)と同様の傾向を示した。

当該ダクトの破壊に必要な圧力との比較においても(別添-4 の表 2 参照)、メインダクト(Node 18)の変形(膨らみ)に対し、コントロールダンパー W106 近傍(Node 20)の破壊には、7~8 倍の圧力が必要と考えられ、1.4 倍程度の圧力上昇では、被害状況は説明できないと思われる。また、爆発発生室近傍ダクト(Node 2,4)の変形(膨らみ)に対し、コントロールダンパー W106 近傍(Node 20)の破壊には、5~6 倍の圧力が必要と思われるが、これについては、逆に、爆発発生室近傍ダクト(Node 2,4)の圧力の方が大きくなるという解析結果が得られている。

表4.4.1-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(1/4)
(爆発エネルギーをパラメータとする解析)

ケース No.	爆発 発生室	爆発 エネルギー	評価点	計算結果(ピーク圧力、温度)			
				圧力(psig)	圧力(kgf/cm ² G)	温度(F)	温度(℃)
1	R152	TNT	Node:1	5.318	0.374	266	130
			10kg	0.573	0.040	—	—
			相当	0.573	0.040	—	—
			Node:5	0.520	0.037	—	—
			Node:8	0.521	0.037	—	—
			Node:10	0.521	0.037	—	—
			Node:12	0.521	0.037	—	—
			Node:14	0.521	0.037	—	—
			Node:16	0.518	0.036	—	—
			Node:17	0.518	0.036	—	—
			Node:18	0.517	0.036	—	—
			Node:19	0.520	0.037	—	—
			Node:20	0.520	0.037	—	—
			Node:25	0.514	0.036	—	—
			Node:26	0.503	0.035	—	—
			Node:27	0.493	0.035	—	—
			Node:37	0.492	0.035	—	—
2	R152	TNT	Node:1	26.69	1.875	960	515
			50kg	3.263	0.229	—	—
			相当	3.263	0.229	—	—
			Node:5	2.886	0.202	—	—
			Node:8	2.889	0.203	—	—
			Node:10	2.889	0.203	—	—
			Node:12	2.889	0.203	—	—
			Node:14	2.889	0.203	—	—
			Node:16	2.871	0.201	—	—
			Node:17	2.871	0.201	—	—
			Node:18	2.869	0.201	—	—
			Node:19	2.870	0.201	—	—
			Node:20	2.870	0.201	—	—
			Node:25	2.843	0.199	—	—
			Node:26	2.786	0.195	—	—
			Node:27	2.672	0.187	—	—
			Node:37	2.692	0.189	—	—

表4.4.1-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(2/4)
(爆発エネルギーをパラメータとする解析)

ケース No.	爆発 発生室	爆発 エネルギー	評価点	計算結果(ピーク圧力、温度)			
				圧力(psig)	圧力(kgf/cm ² G)	温度(F)	温度(℃)
3	R152	TNT 100kg 相当	Node:1	53.37	3.750	1721	939
			Node:2	6.981	0.490	—	—
			Node:4	6.981	0.490	—	—
			Node:5	6.158	0.432	—	—
			Node:8	6.164	0.433	—	—
			Node:10	6.164	0.433	—	—
			Node:12	6.164	0.433	—	—
			Node:14	6.164	0.433	—	—
			Node:16	6.127	0.430	—	—
			Node:17	6.127	0.430	—	—
			Node:18	6.124	0.430	—	—
			Node:19	6.124	0.430	—	—
			Node:20	6.124	0.430	—	—
			Node:25	6.067	0.426	—	—
			Node:26	5.945	0.417	—	—
			Node:27	5.703	0.400	—	—
			Node:37	5.740	0.403	—	—
4	R152	TNT 150kg 相当	Node:1	80.01	5.621	2387	1308
			Node:2	10.57	0.742	—	—
			Node:4	10.57	0.742	—	—
			Node:5	9.357	0.657	—	—
			Node:8	9.362	0.657	—	—
			Node:10	9.362	0.657	—	—
			Node:12	9.362	0.657	—	—
			Node:14	9.362	0.657	—	—
			Node:16	9.306	0.653	—	—
			Node:17	9.306	0.653	—	—
			Node:18	9.303	0.653	—	—
			Node:19	9.304	0.653	—	—
			Node:20	9.304	0.653	—	—
			Node:25	9.215	0.647	—	—
			Node:26	9.030	0.634	—	—
			Node:27	8.662	0.608	—	—
			Node:37	8.708	0.611	—	—

表4.4.1-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(3/4)
(爆発エネルギーをパラメータとする解析)

ケース No.	爆発 発生室	爆発 エネルギー	評価点	計算結果(ピーク圧力、温度)			
				圧力(psig)	圧力(kgf/cm ² G)	温度(F)	温度(℃)
5	R152	TNT	Node:1	106.6	7.491	2974	1634
			200kg	Node:2	14.09	0.990	—
			相当	Node:4	14.09	0.990	—
				Node:5	12.39	0.870	—
				Node:8	12.40	0.871	—
				Node:10	12.40	0.871	—
				Node:12	12.40	0.871	—
				Node:14	12.40	0.871	—
				Node:16	12.32	0.865	—
				Node:17	12.32	0.865	—
				Node:18	12.32	0.865	—
				Node:19	12.32	0.865	—
				Node:20	12.32	0.865	—
				Node:25	12.20	0.857	—
				Node:26	11.71	0.822	—
				Node:27	11.47	0.805	—
				Node:37	11.50	0.808	—
6	R151	TNT	Node:2	4.490	0.315	—	—
			10kg	Node:3	31.37	2.203	1115
			相当	Node:4	4.989	0.350	602
				Node:5	2.155	0.151	—
				Node:8	0.996	0.070	—
				Node:10	1.206	0.084	—
				Node:12	1.994	0.140	—
				Node:14	2.318	0.162	—
				Node:16	1.009	0.070	—
				Node:17	2.131	0.149	—
				Node:18	2.143	0.150	—
				Node:19	2.293	0.161	—
				Node:20	2.394	0.168	—
				Node:25	2.147	0.150	—
				Node:26	1.546	0.108	—
				Node:27	1.417	0.099	—
				Node:37	1.418	0.099	—

表4.4.1-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(4/4)
(爆発エネルギーをパラメータとする解析)

ケース No.	爆発 発生室	爆発 I冲击 [*]	評価点	計算結果(ピーク圧力、温度)			
				圧力(psig)	圧力(kgf/cm ² G)	温度(F)	温度(℃)
7	R151	TNT 50kg 相当	Node:2	17.43	1.224	—	—
			Node:3	156.2	10.97	3949	2176
			Node:4	19.37	1.361	—	—
			Node:5	10.41	0.731	—	—
			Node:8	5.64	0.396	—	—
			Node:10	6.18	0.434	—	—
			Node:12	8.37	0.588	—	—
			Node:14	9.97	0.700	—	—
			Node:16	6.32	0.444	—	—
			Node:17	10.53	0.739	—	—
			Node:18	10.80	0.759	—	—
			Node:19	12.73	0.894	—	—
			Node:20	14.79	1.039	—	—
			Node:25	11.76	0.826	—	—
			Node:26	8.70	0.611	—	—
8	R151	TNT 100kg 相当	Node:2	39.31	2.762	—	—
			Node:3	311.1	21.86	5951	3289
			Node:4	43.68	3.069	—	—
			Node:5	21.73	1.526	—	—
			Node:8	13.18	0.926	—	—
			Node:10	13.59	0.955	—	—
			Node:12	17.30	1.215	—	—
			Node:14	20.60	1.447	—	—
			Node:16	12.74	0.894	—	—
			Node:17	21.04	1.478	—	—
			Node:18	21.33	1.498	—	—
			Node:19	25.83	1.814	—	—
			Node:20	28.86	2.028	—	—
			Node:25	21.16	1.487	—	—
			Node:26	18.65	1.310	—	—
			Node:27	18.63	1.308	—	—
			Node:37	18.63	1.309	—	—

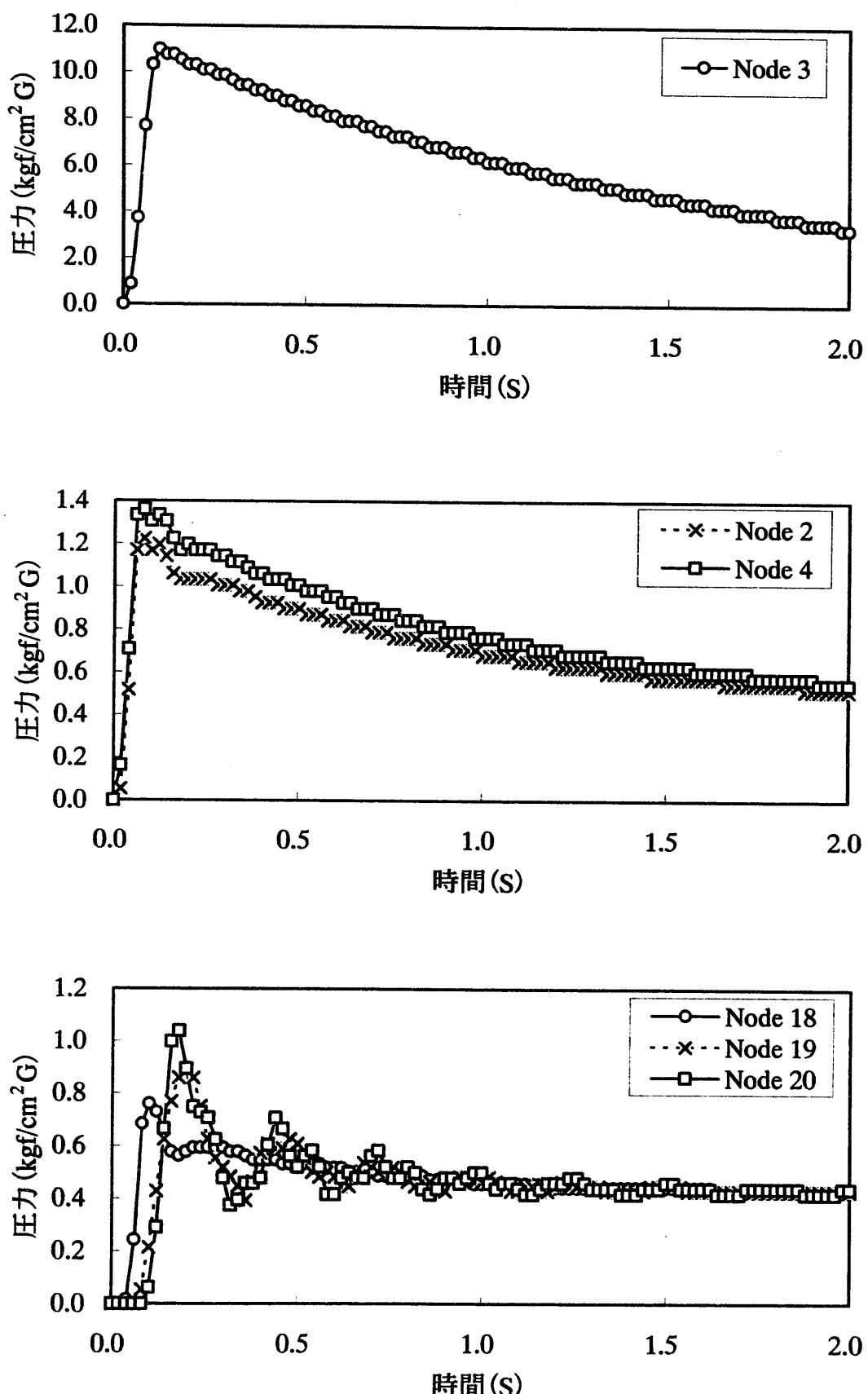


図4.4.1-1 ダクト内圧力の経時変化
(解析条件：表4.4.1-1 ケース7)

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(1/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
1	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	15.48	1.087
		Node:3	0.698	0.049
		Node:4	15.80	1.109
		Node:5	7.402	0.520
		Node:6	0.291	0.020
		Node:7	0.283	0.019
		Node:8	3.900	0.274
		Node:9	0.832	0.058
		Node:10	5.550	0.390
		Node:11	0.595	0.041
		Node:12	6.600	0.463
		Node:13	0.232	0.016
		Node:14	7.500	0.527
		Node:15	0.418	0.029
		Node:16	1.378	0.096
		Node:17	9.845	0.691
		Node:18	8.705	0.611
		Node:19	6.508	0.457
		Node:20	9.658	0.678
		Node:21	0.721	0.050
		Node:22	1.500	0.105
		Node:23	0.332	0.023
		Node:24	1.667	0.117
		Node:25	8.316	0.584
		Node:26	7.817	0.549
		Node:27	4.491	0.315
		Node:37	4.363	0.306

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(2/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	ピーク圧力	
		評価点 (psig)	(kgf/cm ² G)
2	R152圧力挙動	Node:1	142.3 10.00
		Node:2	13.34 0.938
		Node:3	6.615 0.465
		Node:4	13.21 0.928
		Node:5	6.762 0.475
		Node:6	1.810 0.127
		Node:7	2.130 0.150
		Node:8	2.289 0.161
		Node:9	2.662 0.187
		Node:10	2.804 0.197
		Node:11	3.096 0.218
		Node:12	4.406 0.310
		Node:13	1.610 0.113
		Node:14	5.723 0.402
		Node:15	3.043 0.214
		Node:16	3.096 0.218
		Node:17	6.318 0.444
		Node:18	6.575 0.462
		Node:19	6.555 0.461
		Node:20	7.068 0.497
		Node:21	2.921 0.205
		Node:22	2.806 0.197
		Node:23	2.647 0.186
		Node:24	2.778 0.195
		Node:25	6.478 0.455
		Node:26	6.348 0.446
		Node:27	6.219 0.437
		Node:37	6.253 0.440

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(3/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
3	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	13.93	0.979
		Node:3	4.508	0.317
		Node:4	13.80	0.970
		Node:5	7.282	0.512
		Node:6	1.285	0.090
		Node:7	1.547	0.109
		Node:8	2.646	0.186
		Node:9	2.622	0.184
		Node:10	3.277	0.230
		Node:11	2.474	0.174
		Node:12	4.915	0.345
		Node:13	1.163	0.082
		Node:14	6.301	0.443
		Node:15	2.147	0.151
		Node:16	2.190	0.154
		Node:17	6.843	0.481
		Node:18	7.044	0.495
		Node:19	8.913	0.626
		Node:20	9.320	0.655
		Node:21	2.587	0.182
		Node:22	2.300	0.162
		Node:23	1.785	0.125
		Node:24	2.277	0.160
		Node:25	6.928	0.487
		Node:26	6.789	0.477
		Node:27	6.651	0.467
		Node:37	6.636	0.466

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(4/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
4	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	13.55	0.952
		Node:3	3.147	0.221
		Node:4	13.41	0.943
		Node:5	6.580	0.462
		Node:6	0.947	0.067
		Node:7	1.152	0.081
		Node:8	3.091	0.217
		Node:9	2.058	0.145
		Node:10	3.647	0.256
		Node:11	1.877	0.132
		Node:12	5.007	0.352
		Node:13	0.863	0.061
		Node:14	6.181	0.434
		Node:15	1.515	0.106
		Node:16	1.818	0.128
		Node:17	6.493	0.456
		Node:18	6.606	0.464
		Node:19	8.172	0.574
		Node:20	9.425	0.662
		Node:21	1.967	0.138
		Node:22	1.863	0.131
		Node:23	1.239	0.087
		Node:24	1.882	0.132
		Node:25	6.548	0.460
		Node:26	6.155	0.433
		Node:27	5.959	0.419
		Node:37	5.391	0.379

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(5/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
5	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	13.63	0.958
		Node:3	2.757	0.194
		Node:4	13.49	0.948
		Node:5	6.620	0.465
		Node:6	0.853	0.060
		Node:7	1.047	0.074
		Node:8	3.277	0.230
		Node:9	1.939	0.136
		Node:10	3.844	0.270
		Node:11	1.727	0.121
		Node:12	5.168	0.363
		Node:13	0.777	0.055
		Node:14	6.302	0.443
		Node:15	1.357	0.095
		Node:16	1.711	0.120
		Node:17	6.581	0.463
		Node:18	6.667	0.469
		Node:19	8.021	0.564
		Node:20	9.617	0.676
		Node:21	1.809	0.127
		Node:22	1.796	0.126
		Node:23	1.086	0.076
		Node:24	1.832	0.129
		Node:25	6.649	0.467
		Node:26	5.585	0.393
		Node:27	5.053	0.355
		Node:37	5.107	0.359

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(6/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
6	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	17.98	1.263
		Node:3	0.490	0.034
		Node:4	13.67	0.960
		Node:5	8.523	0.598
		Node:6	0.226	0.015
		Node:7	0.213	0.015
		Node:8	3.718	0.261
		Node:9	0.628	0.044
		Node:10	5.312	0.373
		Node:11	0.446	0.031
		Node:12	7.436	0.522
		Node:13	0.165	0.011
		Node:14	8.853	0.622
		Node:15	0.309	0.021
		Node:16	1.071	0.075
		Node:17	7.652	0.537
		Node:18	7.533	0.529
		Node:19	4.715	0.331
		Node:20	7.549	0.530
		Node:21	0.543	0.038
		Node:22	1.437	0.101
		Node:23	0.244	0.017
		Node:24	1.409	0.099
		Node:25	9.701	0.681
		Node:26	6.985	0.490
		Node:27	3.880	0.272
		Node:37	3.685	0.258

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(7/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
7	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	11.92	0.837
		Node:3	0.428	0.030
		Node:4	14.54	1.021
		Node:5	6.788	0.476
		Node:6	0.201	0.014
		Node:7	0.190	0.013
		Node:8	3.437	0.241
		Node:9	0.559	0.039
		Node:10	4.852	0.341
		Node:11	0.395	0.027
		Node:12	8.492	0.596
		Node:13	0.142	0.010
		Node:14	10.11	0.710
		Node:15	0.269	0.019
		Node:16	1.029	0.072
		Node:17	8.574	0.602
		Node:18	8.720	0.612
		Node:19	4.133	0.290
		Node:20	6.792	0.477
		Node:21	0.481	0.033
		Node:22	1.414	0.099
		Node:23	0.216	0.015
		Node:24	1.330	0.093
		Node:25	9.413	0.661
		Node:26	6.401	0.449
		Node:27	3.577	0.251
		Node:37	3.451	0.242

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(8/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
8	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	13.88	0.975
		Node:3	0.615	0.043
		Node:4	13.33	0.936
		Node:5	7.299	0.512
		Node:6	0.257	0.018
		Node:7	0.257	0.018
		Node:8	3.759	0.264
		Node:9	0.757	0.053
		Node:10	22.35	1.570
		Node:11	0.532	0.037
		Node:12	7.176	0.504
		Node:13	0.202	0.014
		Node:14	8.542	0.600
		Node:15	0.377	0.026
		Node:16	1.191	0.083
		Node:17	7.441	0.522
		Node:18	8.546	0.600
		Node:19	5.798	0.407
		Node:20	8.731	0.613
		Node:21	0.650	0.045
		Node:22	1.451	0.102
		Node:23	0.299	0.021
		Node:24	1.612	0.113
		Node:25	8.863	0.622
		Node:26	7.445	0.523
		Node:27	4.254	0.298
		Node:37	4.173	0.293

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(9/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

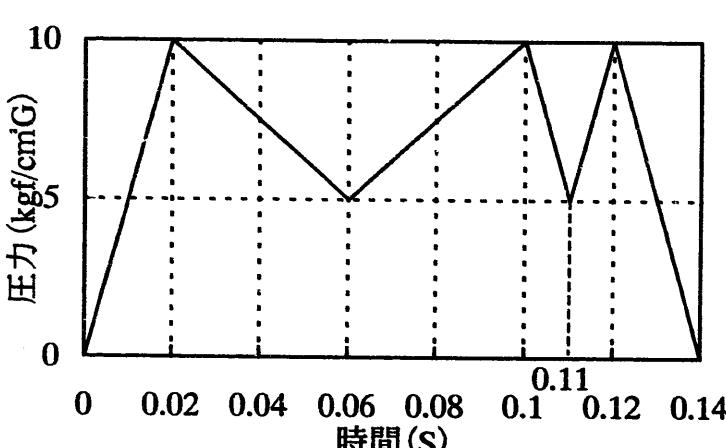
ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
9	R152圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	14.46	1.015
		Node:3	0.890	0.062
		Node:4	14.75	1.036
		Node:5	7.244	0.509
		Node:6	0.345	0.024
		Node:7	0.345	0.024
		Node:8	3.468	0.243
		Node:9	0.985	0.069
		Node:10	5.044	0.354
		Node:11	0.705	0.049
		Node:12	6.620	0.465
		Node:13	0.282	0.019
		Node:14	7.881	0.553
		Node:15	0.516	0.036
		Node:16	1.366	0.096
		Node:17	7.590	0.533
		Node:18	7.777	0.546
		Node:19	7.698	0.540
		Node:20	9.854	0.692
		Node:21	0.860	0.060
		Node:22	1.539	0.108
		Node:23	0.404	0.028
		Node:24	1.655	0.116
		Node:25	8.409	0.590
		Node:26	6.896	0.484
		Node:27	4.709	0.330
		Node:37	4.791	0.336

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(10/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
10	R151圧力挙動	Node:1	0.194	0.014
		Node:2	20.70	1.455
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	24.07	1.692
		Node:5	8.850	0.622
		Node:6	0.290	0.020
		Node:7	0.282	0.020
		Node:8	3.836	0.270
		Node:9	0.784	0.055
		Node:10	5.250	0.369
		Node:11	0.561	0.039
		Node:12	8.682	0.610
		Node:13	0.224	0.016
		Node:14	10.10	0.710
		Node:15	0.410	0.029
		Node:16	1.291	0.091
		Node:17	10.76	0.756
		Node:18	9.357	0.658
		Node:19	6.050	0.425
		Node:20	8.990	0.632
		Node:21	0.661	0.046
		Node:22	1.552	0.109
		Node:23	0.291	0.020
		Node:24	1.534	0.111
		Node:25	9.320	0.655
		Node:26	7.456	0.524
		Node:27	4.287	0.301
		Node:37	4.289	0.301

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(11/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
11	R151圧力挙動	Node:1	1.371	0.096
		Node:2	12.89	0.906
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	14.99	1.054
		Node:5	6.608	0.464
		Node:6	1.721	0.121
		Node:7	2.025	0.142
		Node:8	2.250	0.158
		Node:9	2.531	0.178
		Node:10	2.813	0.198
		Node:11	2.962	0.208
		Node:12	4.388	0.308
		Node:13	1.481	0.104
		Node:14	5.626	0.395
		Node:15	2.921	0.205
		Node:16	2.994	0.210
		Node:17	6.237	0.438
		Node:18	6.476	0.455
		Node:19	6.474	0.455
		Node:20	6.823	0.480
		Node:21	2.804	0.197
		Node:22	2.679	0.188
		Node:23	2.512	0.177
		Node:24	2.679	0.188
		Node:25	6.386	0.449
		Node:26	6.259	0.440
		Node:27	6.131	0.431
		Node:37	6.119	0.430

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(12/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
12	R151圧力挙動	Node:1	0.624	0.044
		Node:2	12.98	0.913
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	15.46	1.086
		Node:5	6.430	0.452
		Node:6	0.769	0.054
		Node:7	0.961	0.068
		Node:8	3.197	0.225
		Node:9	1.922	0.135
		Node:10	3.836	0.270
		Node:11	1.637	0.115
		Node:12	5.243	0.368
		Node:13	0.720	0.051
		Node:14	6.393	0.449
		Node:15	1.240	0.087
		Node:16	1.712	0.120
		Node:17	6.586	0.463
		Node:18	6.592	0.463
		Node:19	7.747	0.544
		Node:20	9.402	0.661
		Node:21	1.723	0.121
		Node:22	1.790	0.126
		Node:23	0.965	0.068
		Node:24	1.826	0.128
		Node:25	6.542	0.460
		Node:26	5.495	0.386
		Node:27	4.972	0.349
		Node:37	4.970	0.349

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(13/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
13	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	47.98	3.373
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	48.96	3.442
		Node:5	17.70	1.244
		Node:6	0.412	0.029
		Node:7	0.437	0.031
		Node:8	9.004	0.633
		Node:9	1.287	0.090
		Node:10	10.00	0.703
		Node:11	0.864	0.061
		Node:12	14.01	0.984
		Node:13	0.345	0.024
		Node:14	16.67	1.172
		Node:15	0.619	0.043
		Node:16	3.163	0.222
		Node:17	17.57	1.235
		Node:18	17.67	1.242
		Node:19	11.37	0.799
		Node:20	17.23	1.211
		Node:21	1.105	0.078
	R152圧力挙動	Node:22	3.999	0.281
		Node:23	0.508	0.036
		Node:24	3.999	0.281
		Node:25	17.66	1.241
		Node:26	15.89	1.117
		Node:27	8.124	0.571
		Node:37	8.195	0.576

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(14/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
14	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	18.44	1.296
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	20.95	1.473
		Node:5	8.122	0.571
		Node:6	0.365	0.026
		Node:7	0.400	0.028
		Node:8	3.884	0.273
		Node:9	1.178	0.083
		Node:10	5.179	0.364
		Node:11	0.772	0.054
		Node:12	9.279	0.652
		Node:13	0.309	0.022
		Node:14	10.79	0.758
		Node:15	0.541	0.038
	R152圧力挙動	Node:16	1.502	0.106
		Node:17	10.73	0.754
		Node:18	10.00	0.703
		Node:19	6.557	0.461
		Node:20	7.724	0.543
		Node:21	0.916	0.064
		Node:22	1.653	0.116
		Node:23	0.422	0.030
		Node:24	1.637	0.115
		Node:25	10.32	0.726
		Node:26	7.846	0.551
		Node:27	4.130	0.290
		Node:37	4.084	0.287

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(15/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
15	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	18.44	1.296
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	20.95	1.473
		Node:5	8.122	0.571
		Node:6	0.422	0.030
		Node:7	0.309	0.022
		Node:8	3.884	0.273
		Node:9	0.703	0.049
		Node:10	5.179	0.364
		Node:11	0.737	0.052
		Node:12	9.279	0.652
		Node:13	0.317	0.022
		Node:14	10.79	0.758
	R152圧力挙動	Node:15	0.532	0.037
		Node:16	1.073	0.075
		Node:17	10.73	0.754
		Node:18	10.01	0.703
		Node:19	5.582	0.392
		Node:20	7.755	0.545
		Node:21	0.682	0.048
		Node:22	1.653	0.116
		Node:23	0.436	0.031
		Node:24	1.587	0.112
		Node:25	10.32	0.726
		Node:26	7.846	0.551
		Node:27	3.923	0.276
		Node:37	3.899	0.274

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(16/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
16	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	18.44	1.296
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	20.95	1.473
		Node:5	8.122	0.571
		Node:6	0.385	0.027
		Node:7	0.368	0.026
		Node:8	4.316	0.303
		Node:9	0.836	0.059
		Node:10	5.179	0.364
		Node:11	0.574	0.040
		Node:12	9.279	0.652
		Node:13	0.287	0.020
		Node:14	10.79	0.758
		Node:15	0.412	0.029
	R152圧力挙動	Node:16	1.073	0.075
		Node:17	10.73	0.754
		Node:18	10.00	0.703
		Node:19	4.876	0.343
		Node:20	7.695	0.541
		Node:21	0.665	0.047
		Node:22	1.653	0.116
		Node:23	0.353	0.025
		Node:24	1.587	0.112
		Node:25	10.32	0.726
		Node:26	7.846	0.551
		Node:27	7.227	0.508
		Node:37	3.899	0.274

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(17/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
17	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	43.37	3.049
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	45.18	3.176
		Node:5	17.32	1.218
		Node:6	0.513	0.036
		Node:7	0.545	0.038
		Node:8	8.355	0.587
		Node:9	1.604	0.113
		Node:10	10.21	0.718
		Node:11	1.084	0.076
		Node:12	12.69	0.892
		Node:13	0.434	0.030
	R152圧力挙動	Node:14	15.47	1.087
		Node:15	0.834	0.059
		Node:16	3.610	0.254
		Node:17	16.41	1.153
		Node:18	16.72	1.175
		Node:19	14.65	1.030
		Node:20	19.39	1.363
		Node:21	1.391	0.098
		Node:22	4.109	0.289
		Node:23	0.667	0.047
		Node:24	4.466	0.314
		Node:25	16.61	1.168
		Node:26	14.62	1.028
		Node:27	9.536	0.677
		Node:37	9.508	0.668

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(18/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
18	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	43.02	3.024
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	44.81	3.150
		Node:5	17.23	1.211
		Node:6	0.512	0.036
		Node:7	0.576	0.041
		Node:8	8.352	0.587
		Node:9	1.601	0.113
		Node:10	10.21	0.717
		Node:11	1.084	0.076
		Node:12	12.68	0.891
		Node:13	0.434	0.030
		Node:14	15.47	1.087
		Node:15	0.834	0.059
		Node:16	3.671	0.258
		Node:17	16.69	1.173
		Node:18	16.71	1.175
		Node:19	14.66	1.031
		Node:20	19.48	1.369
		Node:21	1.390	0.098
		Node:22	4.106	0.289
		Node:23	0.667	0.047
		Node:24	4.463	0.314
		Node:25	16.70	1.174
		Node:26	14.69	1.033
		Node:27	9.684	0.681
		Node:37	9.495	0.667

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(19/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
19	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	30.96	2.176
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	32.25	2.267
		Node:5	13.83	0.972
		Node:6	0.481	0.034
		Node:7	0.572	0.040
		Node:8	4.953	0.348
		Node:9	1.504	0.106
		Node:10	7.980	0.561
		Node:11	1.046	0.074
		Node:12	11.01	0.774
		Node:13	0.418	0.029
		Node:14	13.76	0.967
		Node:15	0.782	0.055
		Node:16	3.041	0.214
		Node:17	13.82	0.972
		Node:18	13.90	0.977
		Node:19	12.47	0.877
		Node:20	16.22	1.140
		Node:21	1.303	0.092
		Node:22	3.288	0.231
		Node:23	0.599	0.042
		Node:24	3.498	0.246
		Node:25	13.33	0.937
		Node:26	10.40	0.731
		Node:27	7.996	0.562
		Node:37	7.860	0.552

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(20/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
20	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	20.73	1.457
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	24.11	1.695
		Node:5	8.948	0.629
		Node:6	0.461	0.032
		Node:7	0.490	0.034
		Node:8	3.992	0.281
		Node:9	1.442	0.101
		Node:10	5.589	0.393
		Node:11	0.974	0.068
		Node:12	8.584	0.603
		Node:13	0.409	0.029
		Node:14	9.981	0.702
		Node:15	0.714	0.050
		Node:16	1.747	0.123
		Node:17	10.92	0.767
		Node:18	9.426	0.663
		Node:19	8.103	0.570
		Node:20	9.248	0.650
		Node:21	1.190	0.084
		Node:22	1.612	0.113
		Node:23	0.547	0.038
		Node:24	1.753	0.123
		Node:25	9.291	0.653
		Node:26	7.618	0.535
		Node:27	5.017	0.353
		Node:37	5.090	0.358

表4.4.2-1 セル換気系排気ダクト内の圧力解析結果(21/21)
(圧力変動をパラメータとする解析)

ケース No.	爆発事象の模擬 (想定圧力挙動)	評価点	ピーク圧力	
			(psig)	(kgf/cm ² G)
21	R151圧力挙動	Node:1	142.3	10.00
		Node:2	20.73	1.457
		Node:3	142.3	10.00
		Node:4	24.11	1.695
		Node:5	8.948	0.629
		Node:6	0.478	0.034
		Node:7	0.478	0.034
		Node:8	3.992	0.281
		Node:9	1.039	0.073
		Node:10	5.589	0.393
		Node:11	0.725	0.051
		Node:12	8.584	0.603
		Node:13	0.377	0.027
		Node:14	9.981	0.702
		Node:15	0.545	0.038
		Node:16	1.310	0.092
		Node:17	10.92	0.767
		Node:18	9.426	0.663
		Node:19	6.214	0.437
		Node:20	9.176	0.645
		Node:21	0.852	0.060
	R152圧力挙動	Node:22	1.539	0.108
		Node:23	0.460	0.032
		Node:24	1.673	0.118
		Node:25	9.291	0.653
		Node:26	7.618	0.535
		Node:27	4.274	0.300
		Node:37	4.327	0.304

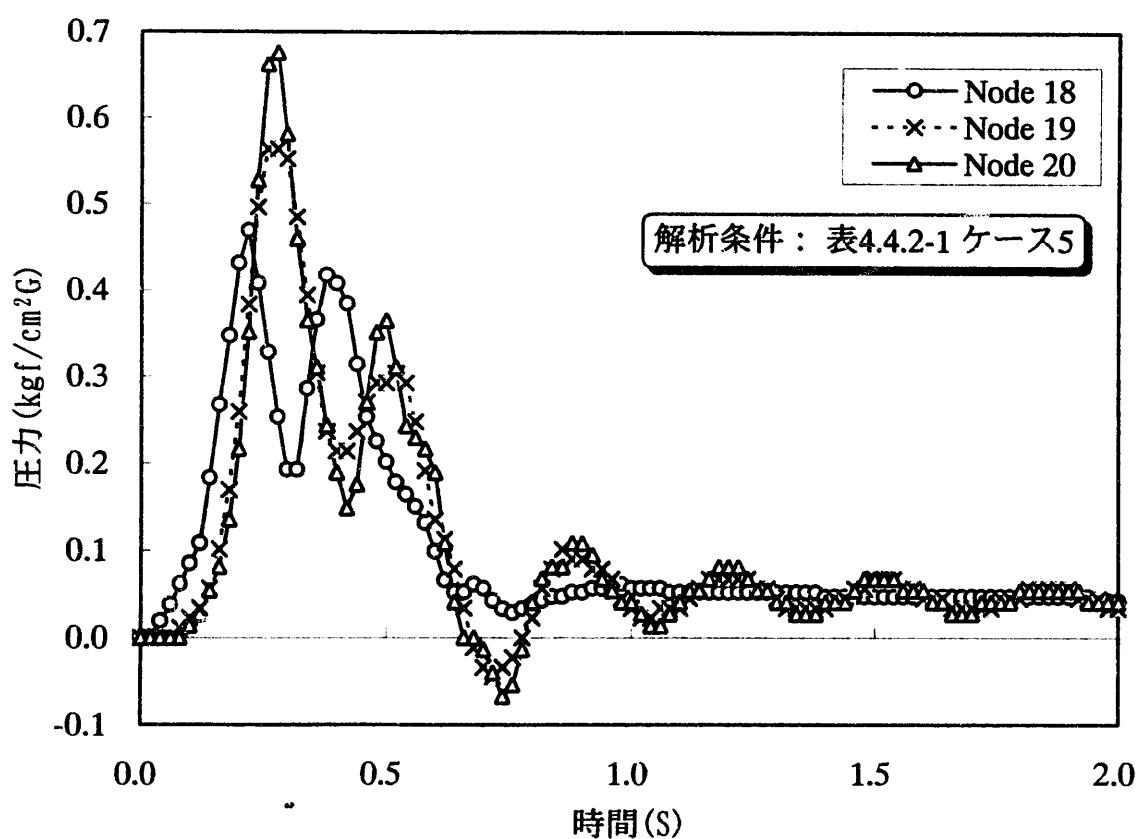
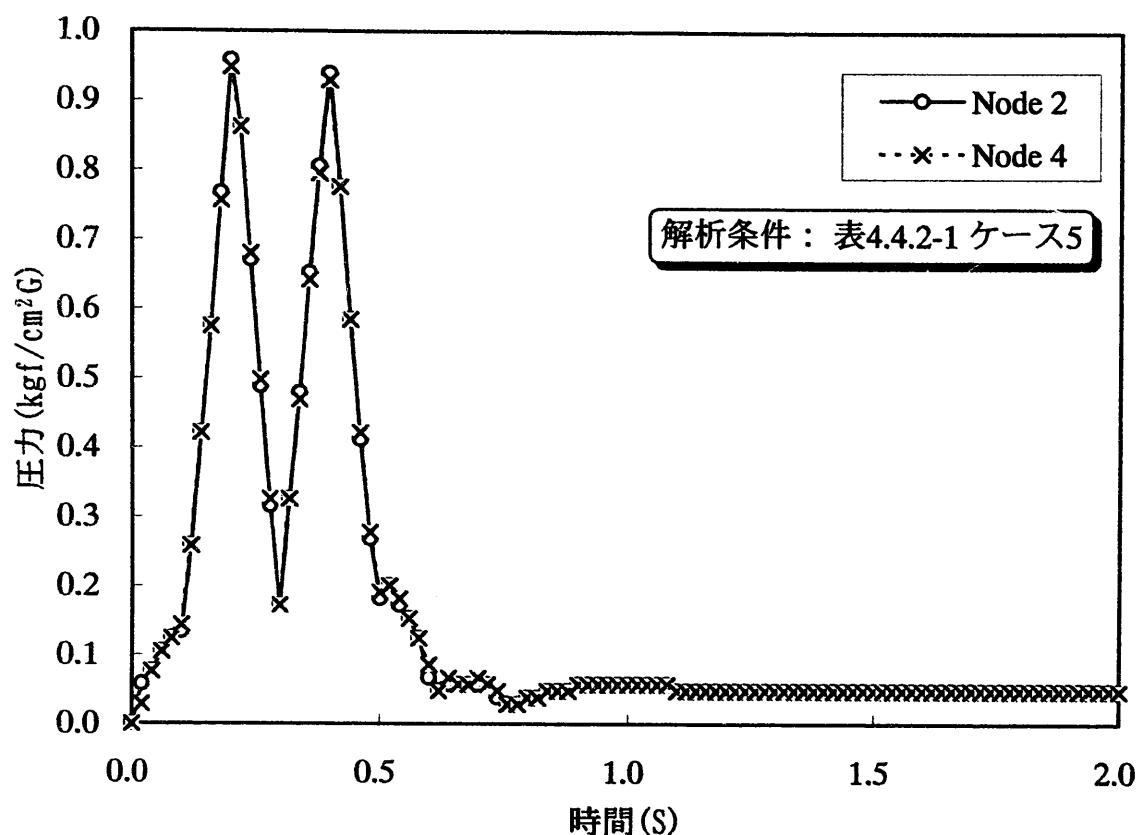


図4.4.2-1 ダクト内圧力の経時変化(1/4)

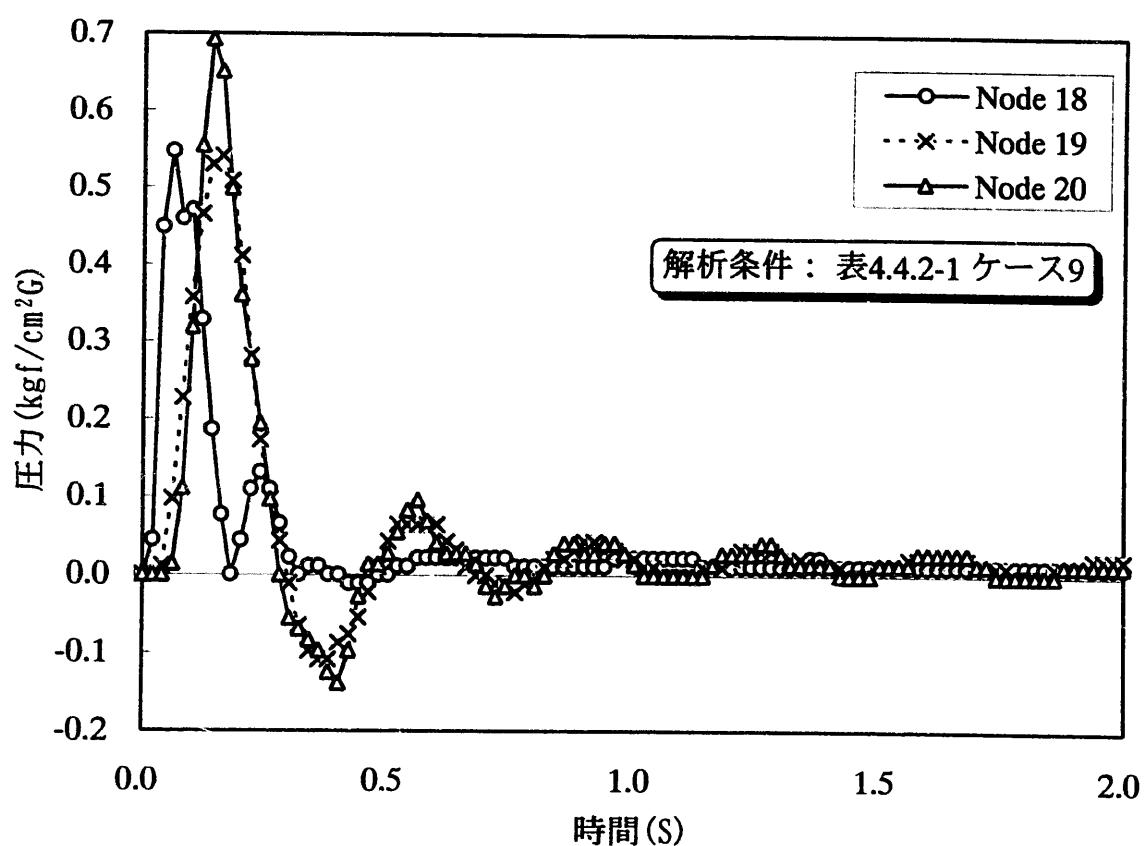
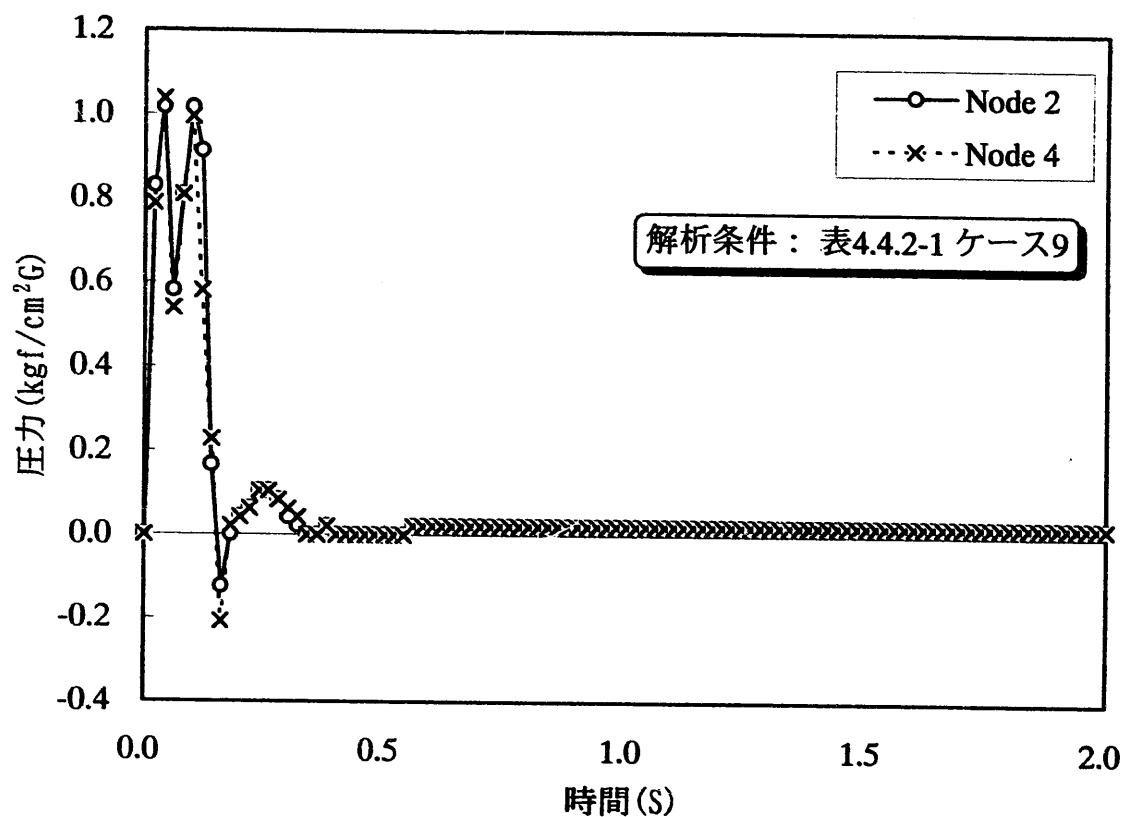


図4.4.2-1 ダクト内圧力の経時変化(2/4)

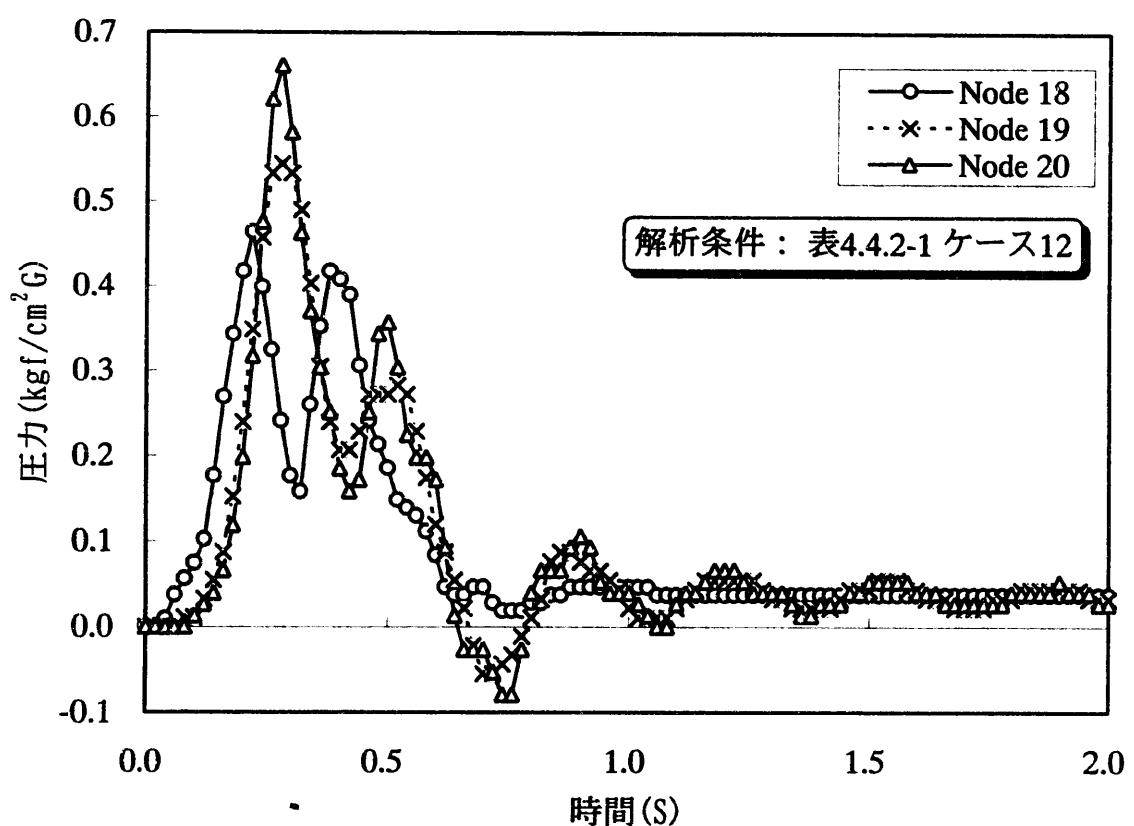
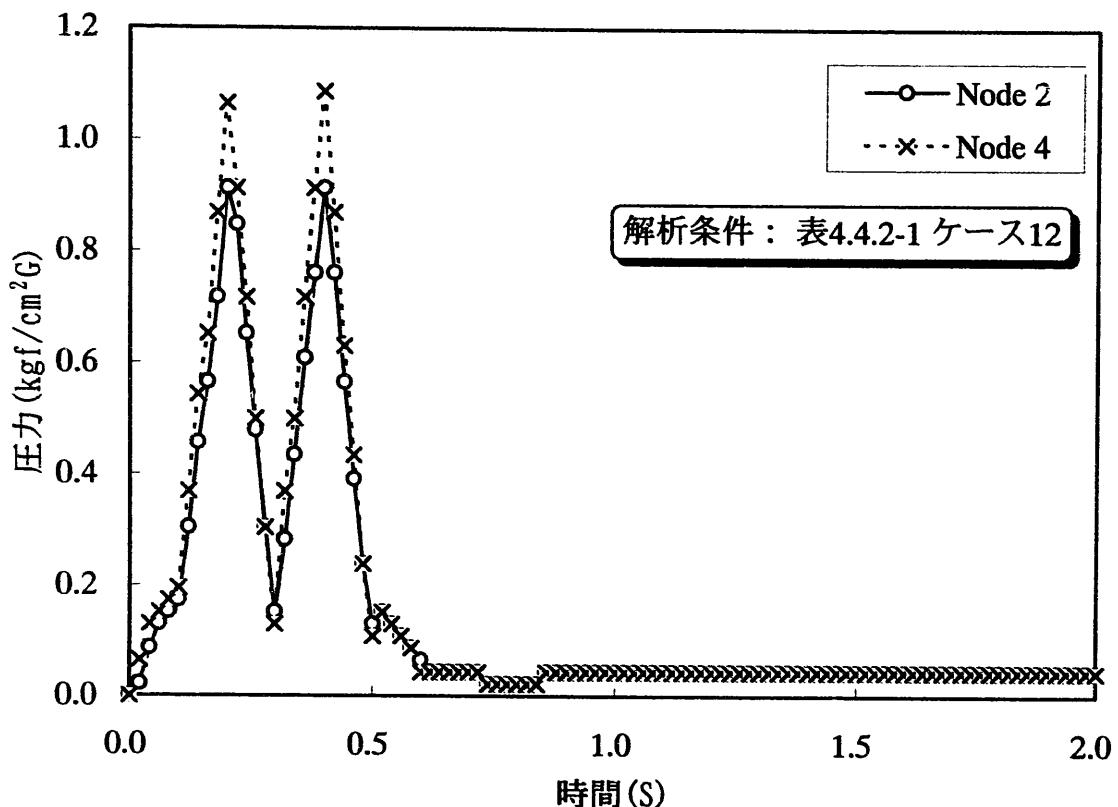


図4.4.2-1 ダクト内圧力の経時変化(3/4)

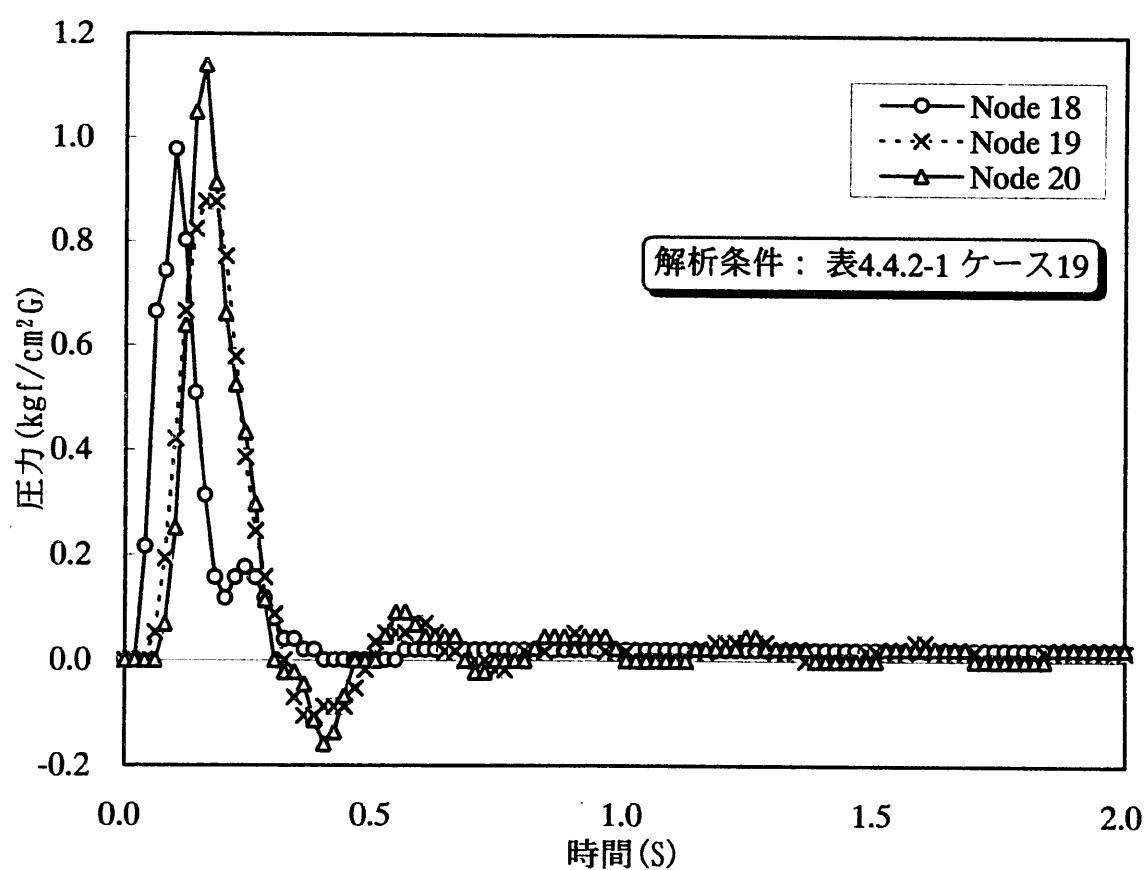
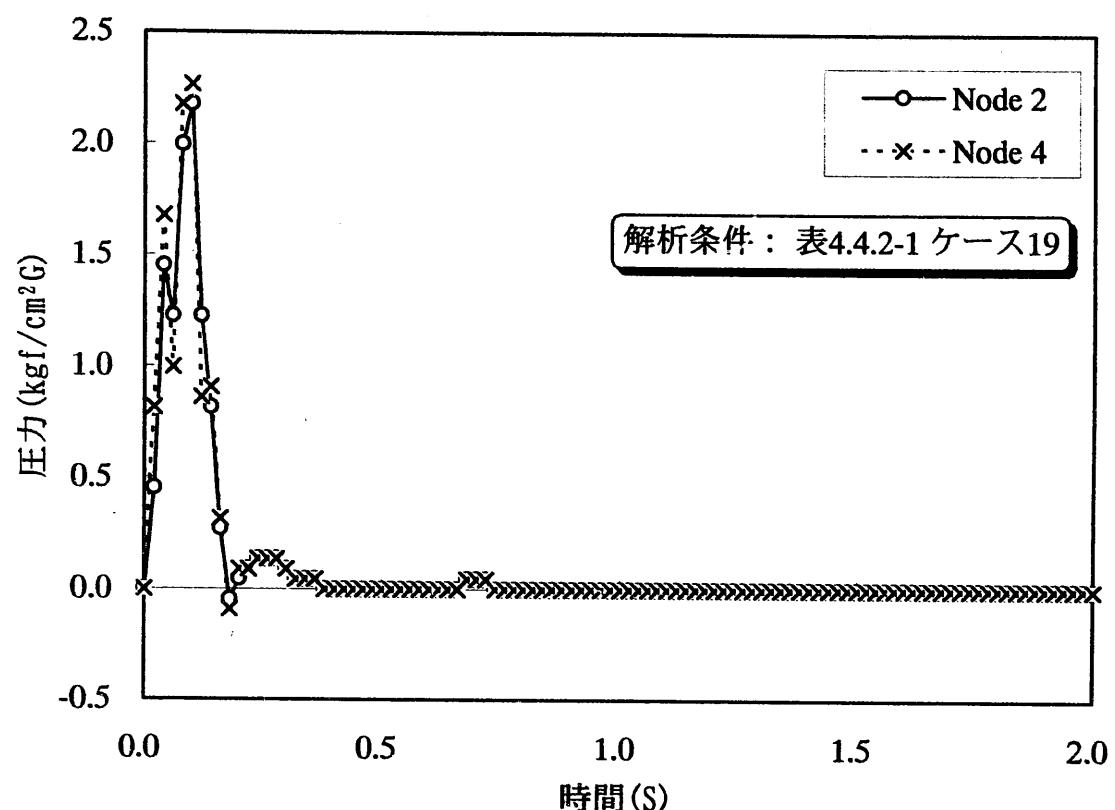


図4.4.2-1 ダクト内圧力の経時変化(4/4)

4.5. まとめ

アスファルト固化処理施設の爆発事故時に一部破損したセル換気系排気ダクトに関して、爆発時に生じたダクト各部の圧力を換気系爆発解析コード EVENT84 により解析し、その解析結果とダクトの損傷状況とを照合することで、事故時の爆発規模の推定を行った。

本解析では、爆発発生元と想定されるアスファルト充てん室(R152)またはエクストルーダ室(R151)内の爆発エネルギーや圧力拳動をパラメータとして様々なパターンで模擬し解析を実施した。その結果、以下のことが判明した。

- (1) すべての解析結果において、爆発発生室(R151、R152)近傍ダクトの圧力が一番大きくなるにも係わらず、その損傷程度は小さく、当該ダクトの損傷状況は定量的には説明できない。
- (2) 爆発発生室(R151、R152)内で大きな圧力変動を想定することで、損傷の大きいダクト下流側での局所的な圧力上昇は起こり得る。但し、定量的に説明できるまでの圧力上昇は得られていない。

なお、上記ダクトの損傷状況を定量的に説明するには、爆発時の各部屋への圧力伝播(各部屋の境界部にある遮へい扉、ハッチ、ドアなどを破壊しながらの圧力伝播)拳動などを解析評価した上で総合的に検討する必要があるものと考える。

5. あとがき

本報告書は、アスファルト固化処理施設で発生した火災・爆発事故の原因究明に係わる各種解析評価作業の一環として実施したセル換気系排気ダクトにおける圧力伝播解析の結果と、本解析に使用する換気系爆発解析コード EVENT84 による解析の信頼性の確認を目的として実施した検証計算の結果をまとめたものである。

検証計算では、原研で実施したセル換気系実証試験の試験データと EVENT84 による解析結果との比較・検証を実施した。その結果、系内各部の圧力、温度、流量、HEPA フィルタの差圧変化とともに、安全側の解析結果が得られ、特に、換気系の解析で一番重要となる HEPA フィルタの健全性の確認に必要な HEPA フィルタの差圧、温度が保守側の評価になっていることで、EVENT84 の信頼性を確認した。

アスファルト固化処理施設のセル換気系排気ダクトにおける圧力伝播解析では、事故時の爆発規模の推定を目的に、当該ダクトの破損状況とダクト各部の圧力解析結果の照合を実施した。その結果、爆発発生室近傍ダクトの破損状況などを定量的に説明するには至らなかったが、一番損傷の大きいダクト下流側での局所的な圧力上昇は起こり得ることが分かった。

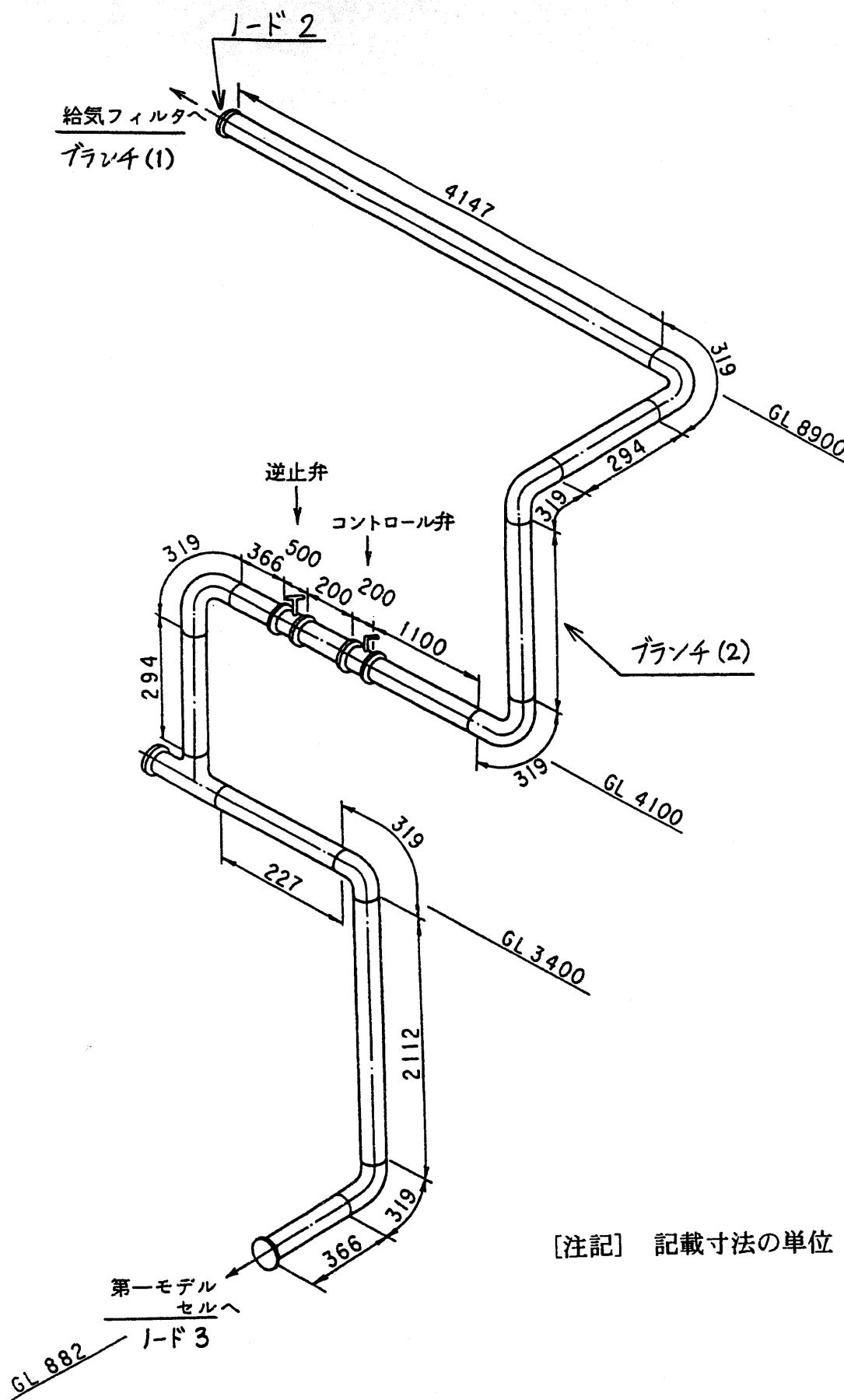
今回の解析では、残念ながら、当初目的としていた事故時の爆発規模(エネルギー)の特定には至らなかったが、爆発発生室内での開口発生により大きな圧力変動が起こり得ることを解析的に説明することができ、これらの解析作業を通じて、ダクト下流側での局所的な圧力上昇は起こり得る、等の知見を得ることができた。

<参考文献>

- 1) R.A.Martin et al., EVENT84 User's Manual - A Computer Code for Analyzing
Explosion-Induced Gas-Dynamic Transients in Flow Networks - :
Los Alamos National Laboratory Report, LA-10312-M (1984)
- 2) 高田準一, 他, 再処理施設で想定した穏やかな爆発事象がセル換気系に与える
影響に関する安全性実証試験(受託研究) : JAERI-Tech 95-024 (1995)
- 3) 空気清浄ハンドブック : 第1版, オーム社, 東京 (1981)
- 4) 技術資料 管路・ダクトの流体抵抗 : 初版, 日本機械学会, 東京 (1979)
- 5) 火災・爆発被害状況 (その3) : 科学技術庁事故調査委員会提出資料,
資料6-8, 平成9年4月16日
- 6) 火災・爆発被害状況 (その9) : 科学技術庁事故調査委員会提出資料,
資料15-3, 平成9年7月10日
- 7) 安全工学協会編, 安全工学講座2, 爆発 : 初版, 海文堂出版, 東京 (1983)
- 8) 平野敏右, ガス爆発予防技術 : 初版, 海文堂出版, 東京 (1983)
- 9) 平野敏右, 現象面からみたガス爆発 : 安全工学, Vol.19, No.6, pp.312~318
(1980)

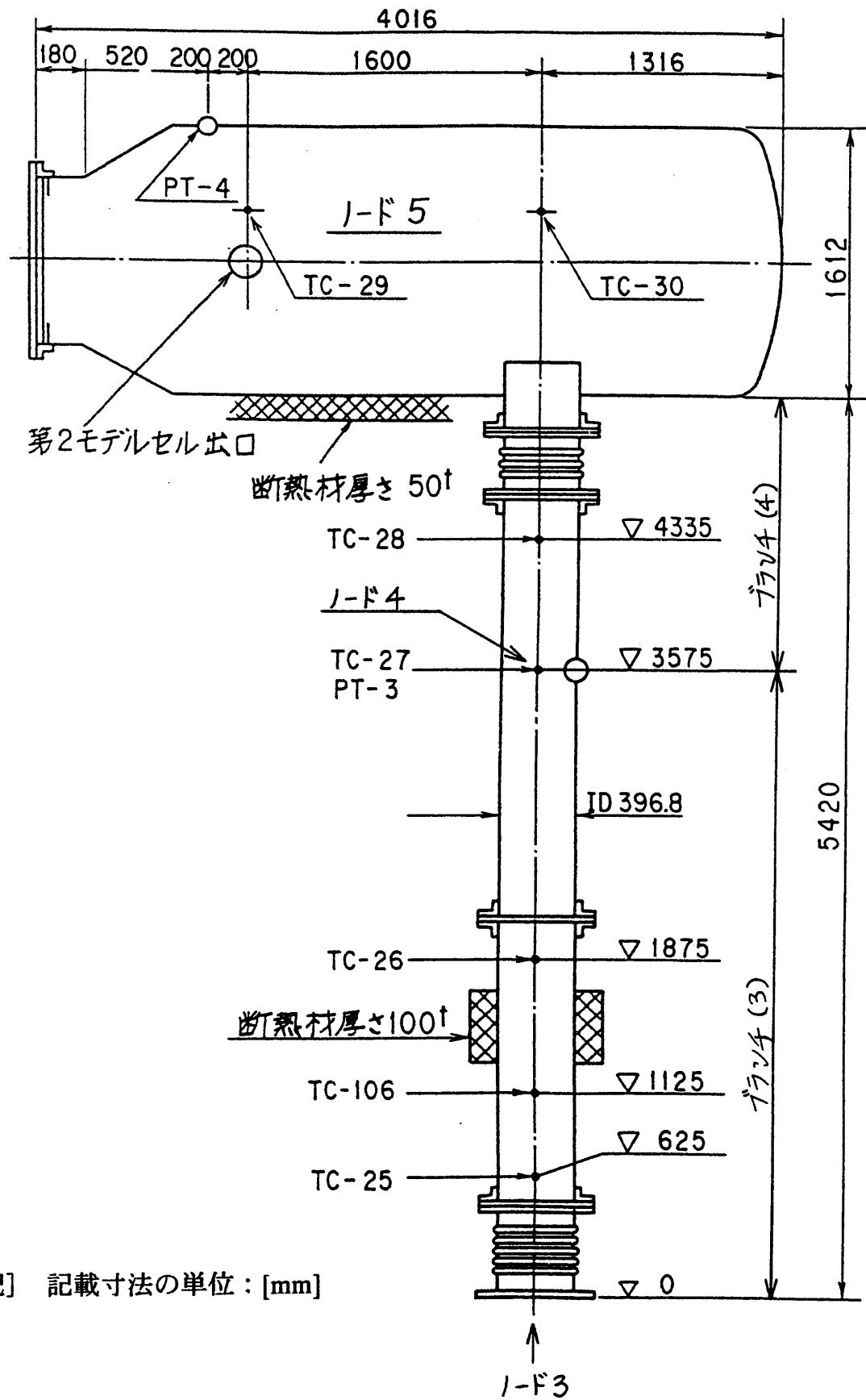
セル換気系実証試験装置の主な仕様

- ・ 給気ダクトの構造及び寸法
- ・ 第1ダクト、第2モデルセルの構造及び寸法
- ・ 第2ダクトの構造及び寸法
- ・ 希釈ダクト、第3ダクト、排気ダクトの構造及び寸法
- ・ HEPA フィルタチェンバーの構造及び寸法
- ・ 排気ブロアの特性曲線

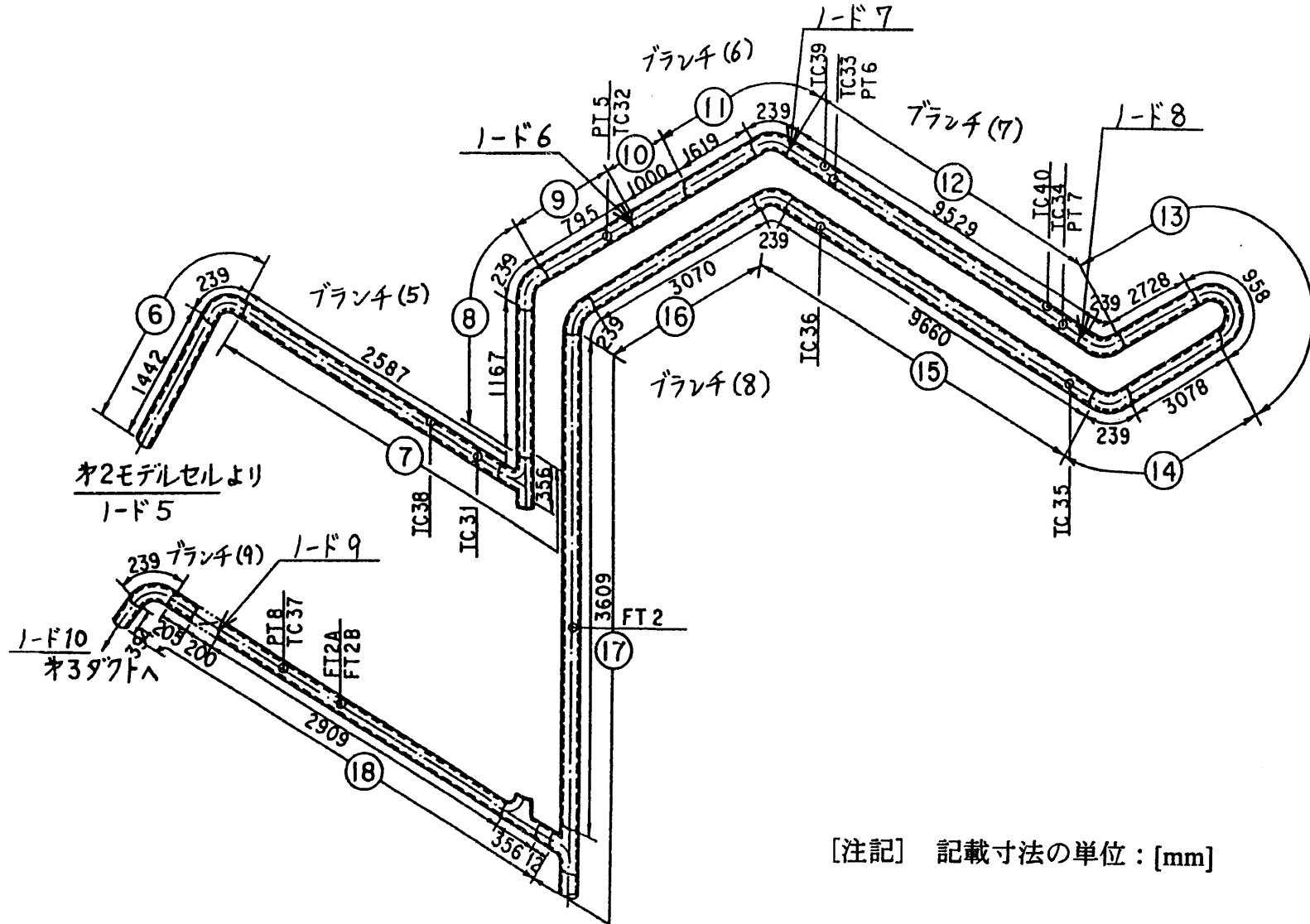


[注記] 記載寸法の単位 : [mm]

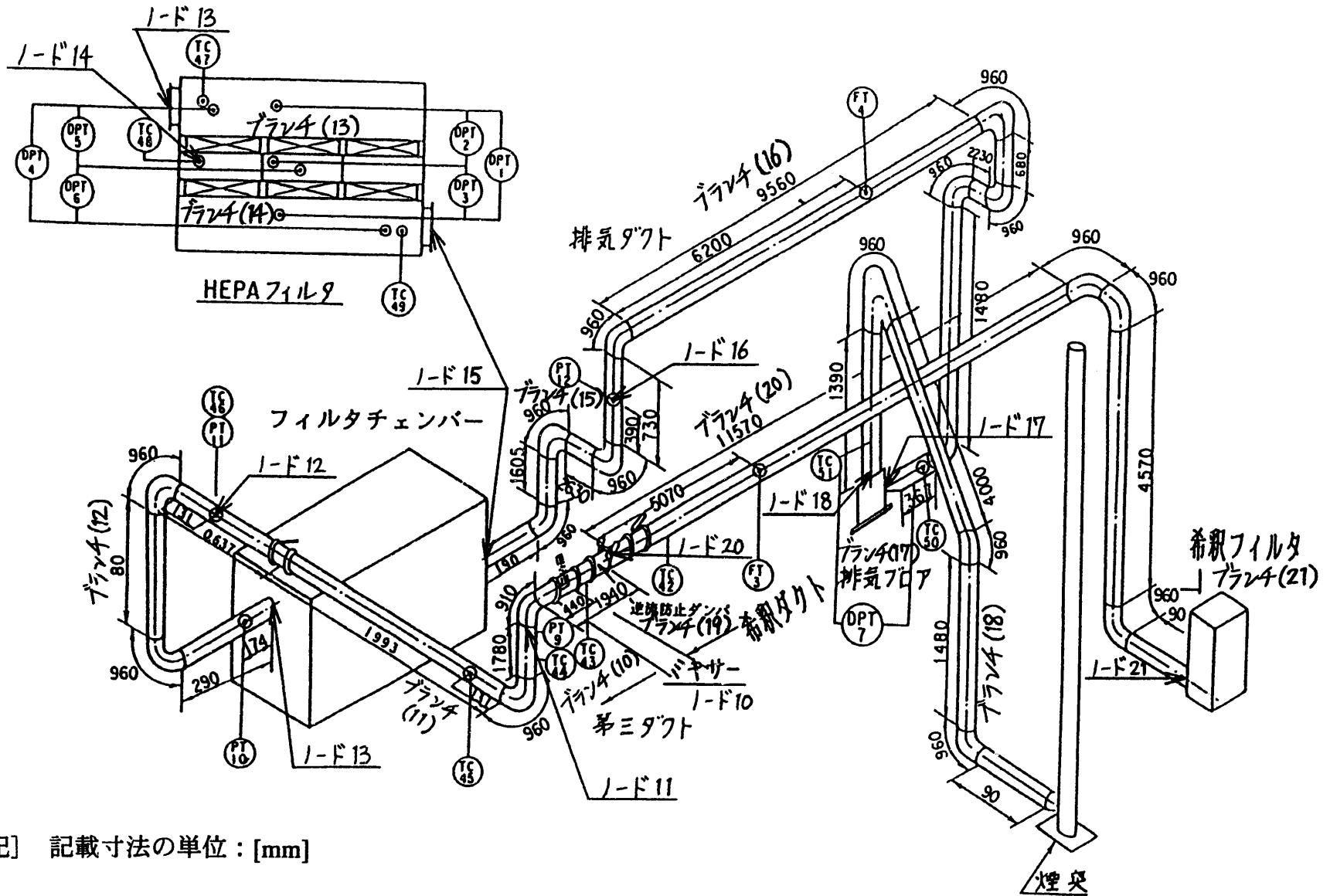
給気ダクトの構造及び寸法

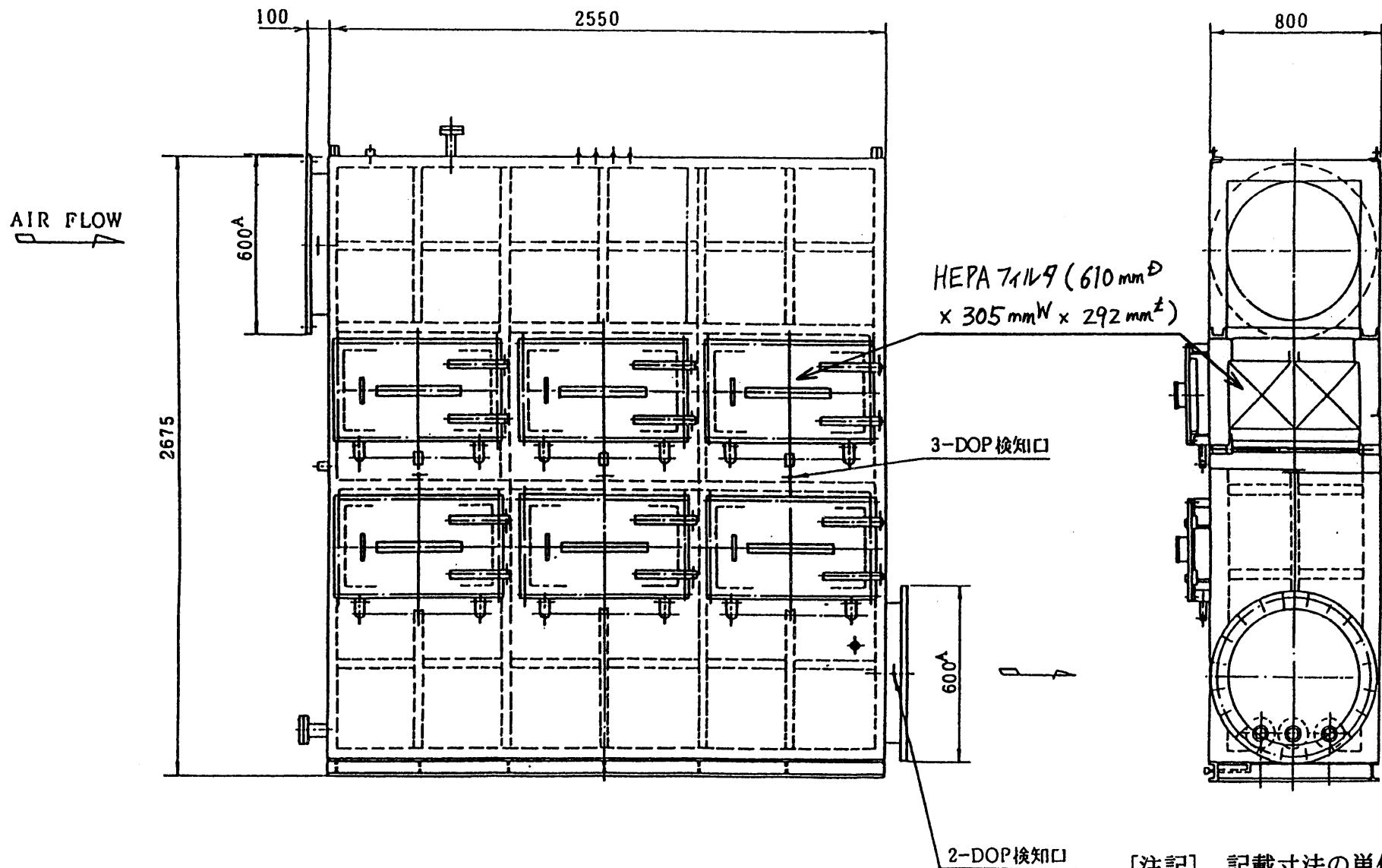


第1ダクト、第2モデルセルの構造及び寸法

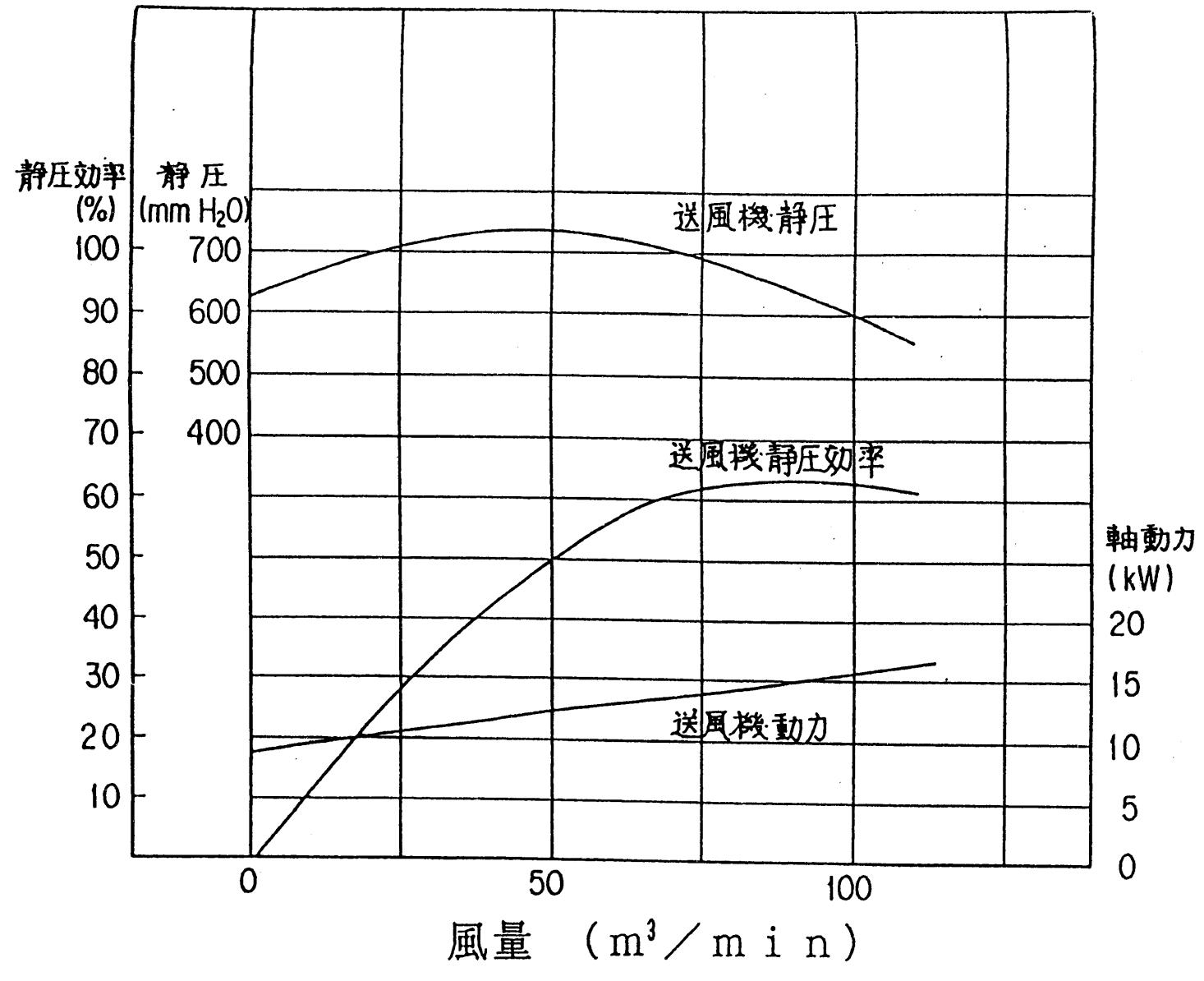


第2ダクトの構造及び寸法





HEPA フィルタチャンバーの構造及び寸法

排気プロアの特性曲線

セル換気系実証試験装置 EVENT84 解析用

入力データ

- ・ ブランチ及びノードの幾何形状データ
- ・ ダクト等における圧力損失の計算
- ・ 各ノードにおける初期圧力
- ・ ブランチ及びノードの幾何形状データ（修正モデル）
- ・ 各ノードにおける初期圧力（修正モデル）
- ・ 爆発事象のモデル化

プランチ及びノードの幾何形状データBranch Data

Branch No.	Component	Flowrate[cfm]	Diameter[m]	Area[ft ²]	Length[ft]
1	給気フィルタ	328.4	—	0.3382	—
2	給気ダクト	328.4	0.2	0.3382	53.37
3	第1ダクト	328.4	0.3968	1.331	11.73
4	第1ダクト	328.4	0.3968	1.331	6.053
5	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	22.39
6	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	9.377
7	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	31.26
8	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	90.85
9	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	3.406
10	第3ダクト	2578.0	0.6	3.043	4.429
11	第3ダクト	2578.0	0.6	3.043	17.19
12	第3ダクト	2578.0	0.6	3.043	7.943
13	HEPAフィルタ	2578.0	—	3.043	—
14	HEPAフィルタ	2578.0	—	3.043	—
15	排気ダクト	2578.0	0.6	3.043	25.25
16	排気ダクト	2578.0	0.6	3.043	63.84
17	プロワ	2578.0	—	3.043	—
18	排気ダクト	2578.0	0.6	3.043	32.28
19	ダンパー	2249.6	—	3.043	—
20	希釈ダクト	2249.6	0.6	3.043	62.70
21	希釈フィルタ	2249.6	—	3.043	—

Node Data

Node No.	Component	Volume[ft ³]	Diameter[m]	Area[ft ²]
2	給気ダクト	19.36	0.2	0.3382
3	第1モデルセル	656.9	3.0	76.09
4	第1ダクト	23.67	0.3968	1.331
5	第2モデルセル	261.3	1.6	21.64
6	第2ダクト	7.572	0.2	0.3382
7	第2ダクト	3.171	0.2	0.3382
8	第2ダクト	10.57	0.2	0.3382
9	第2ダクト	30.72	0.2	0.3382
10	ミキサー	16.13	0.6	3.043
11	第3ダクト	13.48	0.6	3.043
12	第3ダクト	52.31	0.6	3.043
13	第3ダクト	24.17	0.6	3.043
14	HEPAフィルタ	23.65	—	3.043
15	HEPAフィルタ	23.65	—	3.043
16	排気ダクト	76.83	0.6	3.043
17	排気ダクト	194.3	0.6	3.043
18	排気ダクト	4.992	0.6	3.043
20	希釈ダクト	190.8	0.6	3.043
21	希釈ダクト	1.314	0.6	3.043

(Node 1、19、22は、Boundary Node)

ダクト等における圧力損失の計算

Branch No.	Component	口径 [mm]	密度 [kg/m ³]	粘度 [kg/m·s]	流量 [m ³ /h]	流速 [m/s]	レイノルズ'数	管摩擦係数	L/D	圧損 [mmAq]	圧損 [in.Aq]
1	給気フィルタ	-	1.267	1.754E-05	558	-	-	-	-	2.000E+01	7.874E-01
2	給気ダクト	200	1.267	1.754E-05	558	4.934E+00	7.127E+04	0.0205	1126	3.630E+01	1.429E+00
3	第1ダクト	396.8	1.267	1.754E-05	558	1.253E+00	3.592E+04	0.023	9.010	3.254E-01	1.281E-02
4	第1ダクト	396.8	1.267	1.754E-05	558	1.253E+00	3.592E+04	0.023	4.650	3.152E-01	1.241E-02
5	第2ダクト	200	1.267	1.754E-05	558	4.934E+00	7.127E+04	0.0205	110.0	3.544E+00	1.395E-01
6	第2ダクト	200	1.267	1.754E-05	558	4.934E+00	7.127E+04	0.0205	33.10	1.067E+00	4.199E-02
7	第2ダクト	200	1.267	1.754E-05	558	4.934E+00	7.127E+04	0.0205	47.65	1.535E+00	6.045E-02
8	第2ダクト	200	1.267	1.754E-05	558	4.934E+00	7.127E+04	0.0205	287.1	9.253E+00	3.643E-01
9	第2ダクト	200	1.267	1.754E-05	558	4.934E+00	7.127E+04	0.0205	44.00	1.418E+00	5.582E-02
10	第3ダクト	600	1.267	1.754E-05	4380	4.303E+00	1.865E+05	0.0166	20.73	4.116E-01	1.620E-02
11	第3ダクト	600	1.267	1.754E-05	4380	4.303E+00	1.865E+05	0.0166	127.1	2.524E+00	9.936E-02
12	第3ダクト	600	1.267	1.754E-05	4380	4.303E+00	1.865E+05	0.0166	40.84	8.106E-01	3.191E-02
13	HEPAフィルタ	-	1.267	1.754E-05	4380	-	-	-	-	2.396E+01	9.434E-01
14	HEPAフィルタ	-	1.267	1.754E-05	4380	-	-	-	-	2.447E+01	9.635E-01
15	排気ダクト	600	1.267	1.754E-05	4380	4.303E+00	1.865E+05	0.0166	68.03	1.350E+00	5.316E-02
16	排気ダクト	600	1.267	1.754E-05	4380	4.303E+00	1.865E+05	0.0166	124.4	2.470E+00	9.724E-02
17	プロワ	-	1.267	1.754E-05	4380	-	-	-	-	-6.970E+02	-2.744E+01
18	排気ダクト	600	1.267	1.754E-05	4380	4.303E+00	1.865E+05	0.0166	71.60	1.421E+00	5.596E-02
19	ダンパー	600	1.267	1.754E-05	3822	3.755E+00	1.627E+05	0.0168	100.0	1.530E+00	6.023E-02
20	希釈ダクト	600	1.267	1.754E-05	3822	3.755E+00	1.627E+05	0.0168	87.05	1.332E+00	5.243E-02
21	希釈フィルタ	-	1.267	1.754E-05	3822	-	-	-	-	2.000E+01	7.874E-01

入力	入力	入力	Air at T=278.75	Air at T=278.75	入力	計算値	計算値	入力(*1)	入力(*2)	計算値(*3)	計算値
入力	入力	入力	入力(物性値)	入力(物性値)	入力						

(*1 : 管摩擦係数は、Re数及び表面荒さ (ϵ / d) より、ムーディ線図を用いて求める)

(*2 : L/Dは、配管長、エルボ数、弁の設置数等から求める)

(*3 : フィルタ、プロワの圧損は、文献値及び実測データから入力)

各ノードにおける初期圧力

Node No.	Component	圧力 [kPa]	圧力 [mmAq]	圧力 [in.Aq]	データの出典(*)
1	バウンダリ	1.013E+02	0.000E+00	0.000E+00	大気圧
2	給気ダクト	1.011E+02	-2.000E+01	-7.874E-01	推定値
3	第1モデルセル	9.817E+01	-3.216E+02	-1.266E+01	推定値
4	第1ダクト	9.817E+01	-3.219E+02	-1.267E+01	推定値
5	第2モデルセル	9.817E+01	-3.222E+02	-1.269E+01	推定値
6	第2ダクト	9.813E+01	-3.258E+02	-1.283E+01	推定値
7	第2ダクト	9.812E+01	-3.268E+02	-1.287E+01	推定値
8	第2ダクト	9.811E+01	-3.284E+02	-1.293E+01	推定値
9	第2ダクト	9.801E+01	-3.376E+02	-1.329E+01	推定値
10	ミキサー	9.800E+01	-3.390E+02	-1.335E+01	実測値
11	第3ダクト	9.800E+01	-3.395E+02	-1.336E+01	推定値
12	第3ダクト	9.530E+01	-6.144E+02	-2.419E+01	実測値
13	第3ダクト	9.529E+01	-6.152E+02	-2.422E+01	推定値
14	HEPAフィルタ	9.506E+01	-6.391E+02	-2.516E+01	推定値
15	HEPAフィルタ	9.482E+01	-6.636E+02	-2.613E+01	推定値
16	排気ダクト	9.480E+01	-6.650E+02	-2.618E+01	推定値
17	排気ダクト	9.450E+01	-6.956E+02	-2.738E+01	推定値
18	排気ダクト	1.013E+02	1.421E+00	5.594E-02	推定値
19	バウンダリ	1.013E+02	0.000E+00	0.000E+00	大気圧
20	希釈ダクト	1.011E+02	-2.133E+01	-8.398E-01	推定値
21	希釈ダクト	1.011E+02	-2.000E+01	-7.874E-01	推定値
22	バウンダリ	1.013E+02	0.000E+00	0.000E+00	大気圧
		(絶対圧)	(ゲージ圧)	(ゲージ圧)	

*: 各ノードにおける初期圧力の設定では、ミキサー部(ノード10)と第3ダクト(ノード12)で実測値(試験データ)から読み取り設定することとし、それ以外については、各ブランチの圧力損失値から初期圧力を推定することとした。(大気圧及び実測データ(網掛け部)以外については、各ブランチの圧損値を考慮して求めた)

プランチ及びノードの幾何形状データ (修正モデル)Branch Data

Branch No.	Component	Flowrate[cfm]	Diameter[m]	Area[ft ²]	Length[ft]
1	第1ダクト	328.4	0.3968	1.331	11.73
2	第1ダクト	328.4	0.3968	1.331	6.053
3	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	22.39
4	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	9.377
5	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	31.26
6	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	90.85
7	第2ダクト	328.4	0.2	0.3382	3.406
8	第3ダクト	2578.0	0.6	3.043	4.429
9	第3ダクト	2578.0	0.6	3.043	17.19
10	第3ダクト	2578.0	0.6	3.043	7.943
11	HEPAフィルタ	2578.0	—	3.043	—
12	HEPAフィルタ	2578.0	—	3.043	—
13	排気ダクト	2578.0	0.6	3.043	25.25
14	排気ダクト	2578.0	0.6	3.043	63.84
15	プロワ	2578.0	—	3.043	—
16	排気ダクト	2578.0	0.6	3.043	32.28
17	ダンパー	2249.6	—	3.043	—

Node Data

Node No.	Component	Volume[ft ³]	Diameter[m]	Area[ft ²]
1	第1モデルセル	656.9	3.0	76.09
2	第1ダクト	23.67	0.3968	1.331
3	第2モデルセル	261.3	1.6	21.64
4	第2ダクト	7.572	0.2	0.3382
5	第2ダクト	3.171	0.2	0.3382
6	第2ダクト	10.57	0.2	0.3382
7	第2ダクト	30.72	0.2	0.3382
8	ミキサー	1.152	0.6	3.043
9	第3ダクト	13.48	0.6	3.043
10	第3ダクト	52.31	0.6	3.043
11	第3ダクト	24.17	0.6	3.043
12	HEPAフィルタ	23.65	—	3.043
13	HEPAフィルタ	23.65	—	3.043
14	排気ダクト	76.83	0.6	3.043
15	排気ダクト	194.3	0.6	3.043
16	排気ダクト	4.992	0.6	3.043

(Node 17、18は、Boundary Node)

各ノードにおける初期圧力（修正モデル）

Node No.	Component	圧力 [kPa]	圧力 [mmAq]	圧力 [in.Aq]	データの出典 (*)
1	第1モデルセル	9.817E+01	-3.216E+02	-1.266E+01	推定値
2	第1ダクト	9.817E+01	-3.219E+02	-1.267E+01	推定値
3	第2モデルセル	9.817E+01	-3.222E+02	-1.269E+01	推定値
4	第2ダクト	9.813E+01	-3.258E+02	-1.283E+01	推定値
5	第2ダクト	9.812E+01	-3.268E+02	-1.287E+01	推定値
6	第2ダクト	9.811E+01	-3.284E+02	-1.293E+01	推定値
7	第2ダクト	9.801E+01	-3.376E+02	-1.329E+01	推定値
8	ミキサー	9.800E+01	-3.390E+02	-1.335E+01	実測値
9	第3ダクト	9.800E+01	-3.395E+02	-1.336E+01	推定値
10	第3ダクト	9.530E+01	-6.144E+02	-2.419E+01	実測値
11	第3ダクト	9.529E+01	-6.152E+02	-2.422E+01	推定値
12	HEPAフィルタ	9.506E+01	-6.391E+02	-2.516E+01	推定値
13	HEPAフィルタ	9.482E+01	-6.636E+02	-2.613E+01	推定値
14	排気ダクト	9.480E+01	-6.650E+02	-2.618E+01	推定値
15	排気ダクト	9.450E+01	-6.956E+02	-2.738E+01	推定値
16	排気ダクト	1.013E+02	1.421E+00	5.594E-02	推定値
17	バウンダリ	1.013E+02	0.000E+00	0.000E+00	大気圧
18	バウンダリ	1.200E+02	1.904E+03	7.497E+01	任意設定値

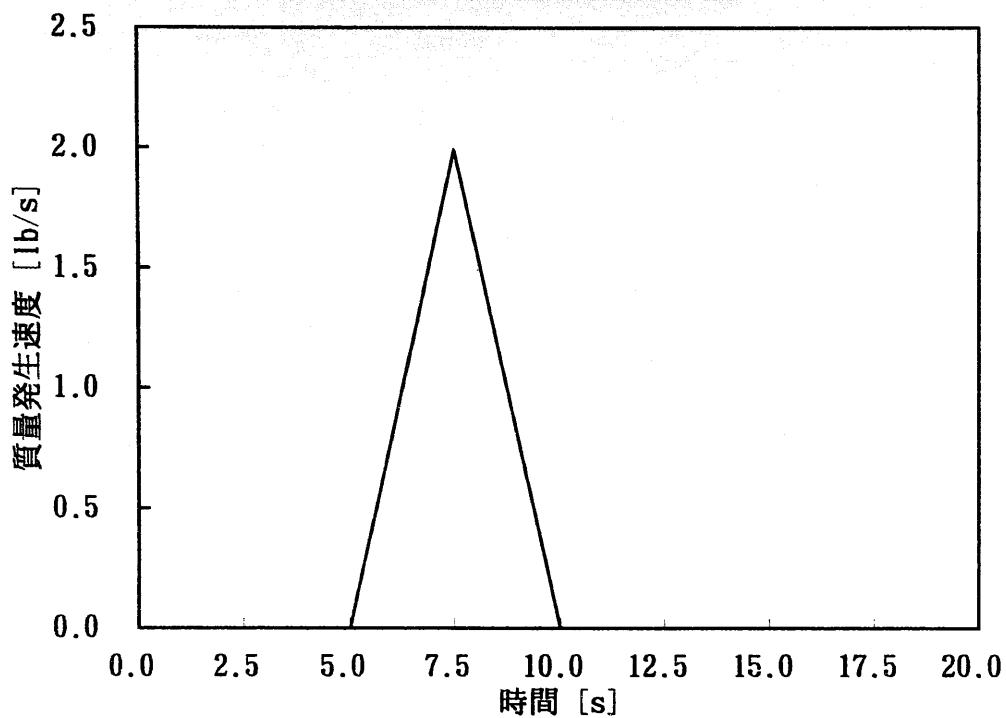
(絶対圧) (ゲージ圧)

(ゲージ圧)

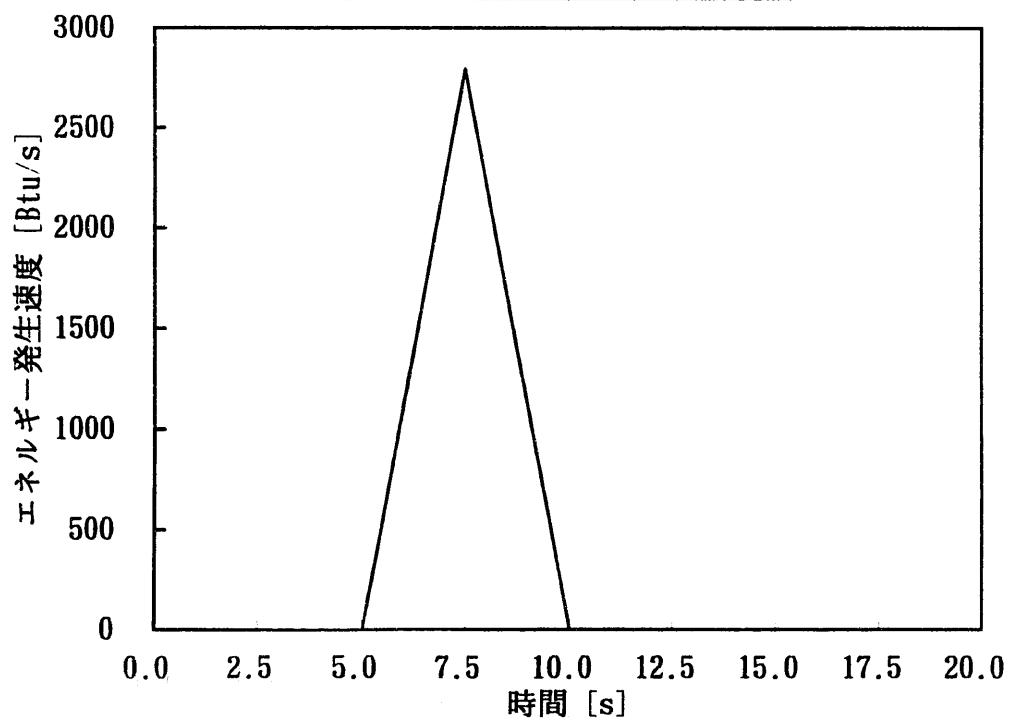
*: 各ノードにおける初期圧力の設定では、ミキサー部（ノード8）と第3ダクト（ノード10）で実測値（試験データ）から読み取り設定することとし、それ以外については、各ブランチの圧力損失値から初期圧力を推定することとした。（大気圧及び実測データ（網掛け部）以外については、各ブランチの圧損値を考慮して求めた）

また、ノード18においては、希釈ダクトへの逆流を防ぐために、ミキサー付近での爆発時のピーク圧力（約120kPa）に相当する圧力で加圧することとした。

爆発時の質量発生速度の経時変化



爆発時のエネルギー発生速度の経時変化



爆発事象のモデル化

アスファルト固化処理施設

セル換気系排気ダクト

EVENT84 解析用入力データ

- ・ セル換気系排気ダクトデータ
- ・ セル換気系排気ダクト 幾何形状データ
- ・ セル換気系排気ダクトにおける圧力損失の計算
- ・ セル換気系排気ダクト 各ノードにおける初期圧力の設定

セル換気系排気ダクトデータ (1/2)

No.	FROM	TO	配管形状(m)					管出入口 入口 出口	弁	T型 継ぎ手	長方形断面 角曲がり	長方形断面丸曲がり		その他 形 状
			縦	横	半径	断面積(m ²)	長さ					90°	45°	
1	R152	R151配管	0.7	0.2	—	4.20E-01	2.4	1.01E+00	1	0	1	1	0	0
2	R151	吸込口	0.7	0.2	—	4.20E-01	2.1	8.82E-01	1	0	1	1	0	0
3	吸込口	R152合流	0.7	0.7	—	4.90E-01	3.3	1.62E+00	0	0	0	1	0	0
4	R152合流	メイン合流	0.7	0.7	—	4.90E-01	4.5	2.21E+00	0	0	1	2	0	1
5	R051	R052合流	0.5	0.8	—	4.00E-01	23.4	9.36E+00	1	0	0	2	0	1
6	R052	R051配管	—	—	0.25	1.96E-01	0.75	1.47E-01	1	0	1	1	0	0
7	R051配管	R055合流	0.5	0.8	—	4.00E-01	5.94	2.38E+00	0	0	0	1	0	0
8	R055	R051配管	0.5	0.2	—	1.00E-01	3.25	3.25E-01	1	0	1	1	1	0
9	R051配管	R057合流	0.5	0.8	—	4.00E-01	4.44	1.78E+00	0	0	1	1	1	0
10	R057	R051配管	0.2	0.2	—	4.00E-02	24	9.60E-01	1	0	2	1	0	1
11	R051配管	メイン配管	0.5	0.8	—	4.00E-01	1	4.00E-01	0	0	0	3	0	0
12	R056	メイン配管	0.4	0.2	—	8.00E-02	18.25	1.46E+00	1	0	1	1	3	3
13	B1Fメイン配管	1Fメイン配管	0.6	0.8	—	4.80E-01	4.3	2.06E+00	0	0	0	1	0	0
14	1Fメイン配管	2Fメイン配管	1.2	0.9	—	1.08E+00	5.3	5.72E+00	0	0	0	1	0	0
15	R251	吸込口	—	—	0.25	3.93E-01	1.6	6.28E-01	1	0	0	1	0	0
16	吸込口	他合流	0.4	0.35	—	1.40E-01	12.85	1.80E+00	0	0	1	2	0	0
17	他合流	2Fメイン配管	1	0.4	—	4.00E-01	2	8.00E-01	0	0	1	1	0	0
18	他合流	2F配管	0.7	0.3	—	2.10E-01	19.65	4.13E+00	0	0	1	1	1	4
19	2F配管	1F配管	0.7	0.3	—	2.10E-01	7.25	1.52E+00	1	0	0	0	0	0
20	2Fメイン配管	3Fメイン配管	1.2	1	—	1.20E+00	4.5	5.40E+00	0	0	0	1	0	0
21	R359	4F R352壁	0.45	0.3	—	1.35E-01	10.513	1.42E+00	1	0	0	0	2	2
22	4F R352壁	R352接続	—	—	0.25	1.96E-01	2.7	5.30E-01	0	0	1	0	1	0
23	R352	R359配管	—	—	0.25	1.96E-01	0.95	1.86E-01	1	0	1	1	0	0
24	R352接続	3Fメイン配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	14.4	2.59E+00	0	0	0	1	1	0
25	3Fメイン配管	フィルタ分岐	1.2	1	—	1.20E+00	5.1	6.12E+00	0	0	0	3	0	1
26	フィルタ分岐	F21側配管	0.8	0.8	—	6.40E-01	8.22	5.26E+00	0	0	0	5	1	0
27	F21側配管	F21入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0
28	F21側配管	F22入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0
29	F19側配管	F19入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0
30	F19側配管	F20入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0
31	F21本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0
32	F22本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0
33	F19本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0

セル換気系排気ダクトデータ (2/2)

No.	FROM	TO	配管形状(m)						管出入口 入口 出口	弁	T型 継ぎ手	長方形断面 角曲がり	長方形断面丸曲がり		その他 形 状	
			縦	横	半径	断面積(m ²)	長さ	体積(m ³)					90°	45°		
34	F20本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0	0	拡大:1
35	F21出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.76	4.97E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
36	F22出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.76	4.97E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
37	F19出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.76	4.97E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
38	F20出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.76	4.97E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
39	フィルタ分岐	F27側配管	1.2	0.8	—	9.60E-01	9.3	8.93E+00	0	0	0	5	1	0	0	縮小:1
40	F27側配管	F27入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0	0	拡大:1
41	F25側配管	F25入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0	0	拡大:1
42	F25側配管	F26入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0	0	拡大:1
43	F23側配管	F23入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0	0	拡大:1
44	F23側配管	F24入口	0.6	0.3	—	1.80E-01	1	1.80E-01	0	0	1	1	0	0	0	拡大:1
45	F27本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0	0	拡大:1
46	F25本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0	0	拡大:1
47	F26本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0	0	拡大:1
48	F23本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0	0	拡大:1
49	F24本体	フィルタ出口	0.6	2.55	—	1.53E+00	1.93	2.95E+00	1	1	0	0	0	0	0	拡大:1
50	F27出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.97	5.35E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
51	F25出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.97	5.35E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
52	F26出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.97	5.35E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
53	F23出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.97	5.35E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
54	F24出口	合流配管	0.6	0.3	—	1.80E-01	2.97	5.35E-01	1	1	1	1	0	0	0	縮小:1
55	F27接配	K22入口	0.8	1	—	8.00E-01	4.94	3.95E+00	0	0	1	2	1	0	0	0
56	F25接配	K23入口	0.8	1	—	8.00E-01	4.94	3.95E+00	0	0	1	2	1	0	0	0
57	K22	接続配管	0.63	0.72	—	4.54E-01	2.82	1.28E+00	0	1	1	1	0	0	0	0
58	K23	接続配管	0.63	0.72	—	4.54E-01	2.82	1.28E+00	0	1	1	1	0	0	0	0

セル換気系排気ダクト 總合幾何形状データ (1/2)

<u>Branch Data</u>				<u>Node Data</u>		
Branch No.	初期流量 [cfm]	断面積 [ft ²]	ダクト長 [ft]	Node No.	体積 [ft ³]	断面積 [ft ²]
1	6.654E+03	4.521E+00	7.874E+00	1	1.921E+04	1.217E+03
2	5.745E+03	4.521E+00	6.890E+00	2	3.560E+01	5.274E+00
3	5.745E+03	5.274E+00	1.083E+01	3	3.227E+03	2.059E+02
4	1.240E+04	5.274E+00	1.476E+01	4	5.710E+01	5.274E+00
5	4.885E+03	4.306E+00	7.677E+01	5	7.787E+01	1.163E+01
6	1.260E+03	2.112E+00	2.461E+00	6	1.524E+04	7.459E+02
7	6.145E+03	4.306E+00	1.949E+01	7	5.182E+03	3.918E+02
8	1.177E+03	1.076E+00	1.066E+01	8	8.391E+01	4.306E+00
9	7.322E+03	4.306E+00	1.457E+01	9	8.202E+02	1.299E+02
10	1.530E+02	4.306E-01	7.874E+01	10	6.272E+01	4.306E+00
11	7.475E+03	4.306E+00	3.281E+00	11	9.062E+02	9.343E+01
12	8.652E+02	8.611E-01	5.988E+01	12	1.413E+01	4.306E+00
13	8.340E+03	5.167E+00	1.411E+01	13	4.420E+03	1.964E+02
14	2.074E+04	1.163E+01	1.739E+01	14	7.289E+01	5.167E+00
15	2.036E+03	4.225E+00	5.249E+00	15	4.730E+03	2.352E+02
16	2.036E+03	1.507E+00	4.216E+01	16	6.353E+01	4.225E+00
17	2.036E+03	4.306E+00	6.562E+00	17	2.825E+01	4.306E+00
18	2.999E+03	2.260E+00	6.447E+01	18	2.021E+02	1.292E+01
19	2.999E+03	2.260E+00	2.379E+01	19	1.457E+02	2.260E+00
20	2.577E+04	1.292E+01	1.476E+01	20	5.377E+01	2.260E+00
21	1.560E+03	1.453E+00	3.449E+01	21	6.469E+02	1.516E+02
22	1.560E+03	2.112E+00	8.858E+00	22	1.871E+01	2.112E+00
23	9.182E+02	2.112E+00	3.117E+00	23	6.960E+03	2.842E+02
24	2.478E+03	1.938E+00	4.724E+01	24	9.154E+01	2.112E+00
25	2.825E+04	1.292E+01	1.673E+01	25	1.907E+02	1.292E+01
26	1.256E+04	6.889E+00	2.697E+01	26	2.161E+02	1.292E+01
27	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	27	1.858E+02	6.889E+00
28	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	28	5.850E+01	1.647E+01
29	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	29	5.850E+01	1.647E+01
30	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	30	5.850E+01	1.647E+01
31	3.139E+03	1.647E+01	—	31	5.850E+01	1.647E+01
32	3.139E+03	1.647E+01	—	32	6.968E+01	1.647E+01
33	3.139E+03	1.647E+01	—	33	6.968E+01	1.647E+01
34	3.139E+03	1.647E+01	—	34	6.968E+01	1.647E+01
35	3.139E+03	1.938E+00	9.055E+00	35	6.968E+01	1.647E+01
36	3.139E+03	1.938E+00	9.055E+00	36	6.851E+02	8.611E+00
37	3.139E+03	1.938E+00	9.055E+00	37	3.153E+02	1.033E+01
38	3.139E+03	1.938E+00	9.055E+00	38	5.850E+01	1.647E+01

セル換気系排気ダクト 總合形状データ (2/2)

<u>Branch Data</u>				<u>Node Data</u>		
Branch No.	初期流量 [cfm]	断面積 [ft ²]	ダクト長 [ft]	Node No.	体積 [ft ³]	断面積 [ft ²]
39	1.569E+04	1.033E+01	3.051E+01	39	5.850E+01	1.647E+01
40	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	40	5.850E+01	1.647E+01
41	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	41	5.850E+01	1.647E+01
42	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	42	5.850E+01	1.647E+01
43	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	43	7.102E+01	1.647E+01
44	3.139E+03	1.938E+00	3.281E+00	44	7.102E+01	1.647E+01
45	3.139E+03	1.647E+01	—	45	7.102E+01	1.647E+01
46	3.139E+03	1.647E+01	—	46	7.102E+01	1.647E+01
47	3.139E+03	1.647E+01	—	47	7.102E+01	1.647E+01
48	3.139E+03	1.647E+01	—	48	1.847E+02	8.611E+00
49	3.139E+03	1.647E+01	—	49	1.847E+02	8.611E+00
50	3.139E+03	1.938E+00	9.744E+00	50	Boundary	Boundary
51	3.139E+03	1.938E+00	9.744E+00	51	Boundary	Boundary
52	3.139E+03	1.938E+00	9.744E+00			
53	3.139E+03	1.938E+00	9.744E+00			
54	3.139E+03	1.938E+00	9.744E+00			
55	1.413E+04	8.611E+00	1.621E+01			
56	1.413E+04	8.611E+00	1.621E+01			
57	1.413E+04	4.883E+00	9.252E+00			
58	1.413E+04	4.883E+00	9.252E+00			

注記： 本表は、前表に記載のダクトデータを EVENT入力用に単位換算し
まとめたものである。

セル換気系排気ダクトにおける圧力損失の計算 (1/2)

Branch No.	相当径 [m]	密度 [kg/m ³]	粘度 [kg/m·s]	流量 [m ³ /h]	流速 [m/s]	レイルズ' 数	管摩擦係数	L/D	損失係数 ζ	圧損 [mmAq]
1	3.91E-01	1.16	1.88E-05	1.13E+04	2.62E+01	6.35E+05	0.0144	6.14E+00	5.99	2.48E+02
2	3.91E-01	1.16	1.88E-05	9.76E+03	2.26E+01	5.48E+05	0.0146	5.38E+00	5.99	1.85E+02
3	7.65E-01	1.16	1.88E-05	9.76E+03	5.90E+00	2.80E+05	0.0152	4.31E+00	0.40	9.61E-01
4	7.65E-01	1.16	1.88E-05	2.11E+04	1.27E+01	6.04E+05	0.0137	5.88E+00	2.16	2.15E+01
5	6.87E-01	1.16	1.88E-05	8.30E+03	6.23E+00	2.65E+05	0.0156	3.41E+01	4.40	1.14E+01
6	5.00E-01	1.16	1.88E-05	2.14E+03	3.03E+00	9.38E+04	0.0188	1.50E+00	2.02	1.11E+00
7	6.87E-01	1.16	1.88E-05	1.04E+04	7.83E+00	3.33E+05	0.0150	8.65E+00	1.10	4.48E+00
8	3.37E-01	1.16	1.88E-05	2.00E+03	6.23E+00	1.30E+05	0.0178	9.64E+00	3.29	7.97E+00
9	6.87E-01	1.16	1.88E-05	1.24E+04	9.33E+00	3.97E+05	0.0146	6.47E+00	2.92	1.56E+01
10	2.19E-01	1.16	1.88E-05	2.60E+02	1.92E+00	2.61E+04	0.0250	1.10E+02	4.01	1.48E+00
11	6.87E-01	1.16	1.88E-05	1.27E+04	9.53E+00	4.05E+05	0.0146	1.46E+00	1.80	9.81E+00
12	3.05E-01	1.16	1.88E-05	1.47E+03	5.60E+00	1.06E+05	0.0186	5.99E+01	9.56	1.99E+01
13	7.55E-01	1.16	1.88E-05	1.42E+04	8.78E+00	4.11E+05	0.0144	5.69E+00	0.71	3.60E+00
14	1.13E+00	1.16	1.88E-05	3.52E+04	9.71E+00	6.82E+05	0.0132	4.68E+00	0.41	2.64E+00
15	5.00E-01	1.16	1.88E-05	3.46E+03	4.89E+00	1.52E+05	0.0172	3.20E+00	1.50	2.21E+00
16	4.09E-01	1.16	1.88E-05	3.46E+03	7.32E+00	1.86E+05	0.0168	3.14E+01	4.24	1.52E+01
17	6.74E-01	1.16	1.88E-05	3.46E+03	2.69E+00	1.13E+05	0.0182	2.97E+00	1.35	6.05E-01
18	4.90E-01	1.16	1.88E-05	5.10E+03	7.50E+00	2.28E+05	0.0162	4.01E+01	4.55	1.74E+01
19	4.90E-01	1.16	1.88E-05	5.10E+03	7.50E+00	2.28E+05	0.0162	1.48E+01	0.50	2.47E+00
20	1.20E+00	1.16	1.88E-05	4.38E+04	1.08E+01	8.03E+05	0.0129	3.76E+00	1.00	7.29E+00
21	4.00E-01	1.16	1.88E-05	2.65E+03	5.87E+00	1.45E+05	0.0175	2.63E+01	4.29	9.72E+00
22	5.00E-01	1.16	1.88E-05	2.65E+03	3.75E+00	1.16E+05	0.0182	5.40E+00	1.82	1.60E+00
23	5.00E-01	1.16	1.88E-05	1.56E+03	2.21E+00	6.84E+04	0.0201	1.90E+00	2.02	5.95E-01
24	4.57E-01	1.16	1.88E-05	4.21E+03	7.13E+00	2.02E+05	0.0166	3.15E+01	3.44	1.20E+01
25	1.20E+00	1.16	1.88E-05	4.80E+04	1.19E+01	8.80E+05	0.0128	4.26E+00	3.09	2.63E+01
26	8.75E-01	1.16	1.88E-05	2.13E+04	9.86E+00	5.35E+05	0.0138	9.40E+00	3.50	2.10E+01
27	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
28	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
29	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
30	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
35	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.04E+00	3.12	1.56E+01
36	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.04E+00	3.12	1.56E+01
37	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.04E+00	3.12	1.56E+01

セル換気系排気ダクトにおける圧力損失の計算 (2/2)

Branch No.	相当径 [m]	密度 [kg/m ³]	粘度 [kg/m·s]	流量 [m ³ /h]	流速 [m/s]	レイノルズ'数	管摩擦係数	L/D	損失係数 ζ	圧損 [mmAq]
38	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.04E+00	3.12	1.56E+01
39	1.07E+00	1.16	1.88E-05	2.67E+04	8.30E+00	5.49E+05	0.0136	8.73E+00	5.06	2.12E+01
40	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
41	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
42	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
43	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
44	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	2.19E+00	1.44	7.14E+00
50	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.50E+00	3.12	1.56E+01
51	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.50E+00	3.12	1.56E+01
52	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.50E+00	3.12	1.56E+01
53	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.50E+00	3.12	1.56E+01
54	4.57E-01	1.16	1.88E-05	5.33E+03	9.03E+00	2.56E+05	0.0160	6.50E+00	3.12	1.56E+01
55	9.76E-01	1.16	1.88E-05	2.40E+04	8.91E+00	5.39E+05	0.0138	5.06E+00	3.25	1.56E+01
56	9.76E-01	1.16	1.88E-05	2.40E+04	8.91E+00	5.39E+05	0.0138	5.06E+00	3.25	1.56E+01
57	7.36E-01	1.16	1.88E-05	2.40E+04	1.57E+01	7.15E+05	0.0134	3.83E+00	1.92	1.04E+02
58	7.36E-01	1.16	1.88E-05	2.40E+04	1.57E+01	7.15E+05	0.0134	3.83E+00	1.92	1.04E+02
入力	入力(*1)	入力(*2)	入力	入力	計算値	計算値	入力(*3)	入力(*4)	入力(*4)	計算値

(*1 : 長方形ダクトについては、これと同一風量で等しい圧損を持つ円形ダクトで置き換える、
すなわち、この円形ダクトの相当直径に換算して圧損を計算する)

(*2 : 密度及び粘度は、室温(30°Cと仮定)における空気の物性値とする)

(*3 : 管摩擦係数は、Re数及び表面荒さ(ϵ/d)より、ムーディ線図を用いて求める)

(*4 : L/D及び ζ は、配管形状、配管長、エルボ数、弁の設置数等から求める)

セル換気系排気ダクト 各ノードにおける初期圧力の設定

Node No.	圧力 [mmAq]	圧力 [in.Aq]	Node No.	圧力 [mmAq]	圧力 [in.Aq]
1	8.688E+02	3.421E+01	33	1.350E+02	5.316E+00
2	6.209E+02	2.444E+01	34	1.350E+02	5.316E+00
3	8.064E+02	3.175E+01	35	1.350E+02	5.316E+00
4	6.219E+02	2.448E+01	36	1.194E+02	4.701E+00
5	5.994E+02	2.360E+01	37	5.422E+02	2.135E+01
6	6.442E+02	2.536E+01	38	5.350E+02	2.106E+01
7	6.340E+02	2.496E+01	39	5.350E+02	2.106E+01
8	6.328E+02	2.491E+01	40	5.350E+02	2.106E+01
9	6.363E+02	2.505E+01	41	5.350E+02	2.106E+01
10	6.284E+02	2.474E+01	42	5.350E+02	2.106E+01
11	6.143E+02	2.418E+01	43	1.350E+02	5.316E+00
12	6.128E+02	2.413E+01	44	1.350E+02	5.316E+00
13	6.228E+02	2.452E+01	45	1.350E+02	5.316E+00
14	6.030E+02	2.374E+01	46	1.350E+02	5.316E+00
15	6.147E+02	2.420E+01	47	1.350E+02	5.316E+00
16	6.125E+02	2.411E+01	48	1.038E+02	4.085E+00
17	5.973E+02	2.352E+01	49	1.038E+02	4.085E+00
18	5.967E+02	2.349E+01	50	0.000E+00	0.000E+00
19	6.141E+02	2.418E+01	51	0.000E+00	0.000E+00
20	6.166E+02	2.427E+01		(ゲージ圧)	(ゲージ圧)
21	6.127E+02	2.412E+01			
22	6.030E+02	2.374E+01			
23	6.020E+02	2.370E+01			
24	6.014E+02	2.368E+01			
25	5.894E+02	2.321E+01			
26	5.631E+02	2.217E+01			
27	5.422E+02	2.135E+01			
28	5.350E+02	2.106E+01			
29	5.350E+02	2.106E+01			
30	5.350E+02	2.106E+01			
31	5.350E+02	2.106E+01			
32	1.350E+02	5.316E+00			
	(ゲージ圧)	(ゲージ圧)			

ダクトの破損に必要な圧力の評価

ダクトの破損に必要な圧力の評価

EVENT84によるダクト各部の圧力解析結果とダクトの被害状況とを照合する上で、ダクト各部の破損に必要な圧力を評価する必要がある。ここでは、その破壊圧力の評価方法及び評価結果についてまとめた。

1. 評価方法

ダクトの変形(膨らみ)または破壊(破断)に必要な圧力を、以下の2通りの方法により求める。

(1) ダクトをステーによって支える平板で模擬した場合（ケース1）

長方形ダクトの平板部における耐圧を、図1に示すように、ステーによって支える平板の計算厚さの式 (JIS B8276) により求める。すなわち、ダクトの変形(膨らみ)または破壊(破断)に必要な内圧 P [MPa] を、下式により求める。

$$P = C \cdot \sigma \cdot \left(\frac{t}{P_c} \right)^2$$

ここで、 C : ステーの取付け方による定数 (図1の場合、 $C=2.1$)

σ : 使用材料の降伏点または引張強さ [N/mm²]

(ダクトの膨らみの場合は降伏点 (245 N/mm²) とし、破壊の場合は引張強さ (400 N/mm²) とする (使用材料 : SS41)。)

t : 板厚 [mm] (セル換気系排気ダクトは 全て 2.3 mm)

P_c : ステー間隔 [mm]

(2) ダクトを単純支持の長方形板で模擬した場合（ケース2）

ダクトの塑性崩壊に必要な圧力を極限解析により求める。ダクトのフランジで挟まれた平面を、図2に示すように、単純支持長方形板と仮定すると、その曲げ変形に必要な極限圧力 P_r は、下式*に示す下限値 P_- と上限値 P_+ との間にある。

($P_- < P_r < P_+$)

(* 出典 : M.A.SAVE et al., PLASTIC ANALYSIS AND DESIGN OF PLATES, SHELLS AND DISKS)

$$P_- = 8M_p \left(\frac{1}{\ell^2} + \frac{1}{L^2} \right)$$

$$P_+ = \frac{24M_p}{\ell^2 \left[\sqrt{3 + (\ell/L)^2} - \ell/L \right]^2}$$

(ℓ : 短辺長さ、 L : 長辺長さ)

ここで、長方形板の極限曲げモーメント M_p は、下式により求められる。

$$M_p = \frac{h^2}{4} \sigma_y \quad (h : \text{板厚}, \sigma_y : \text{使用材料 SS41 の降伏点})$$

なお、ダクトが破壊(破断)している箇所については、上記 σ_y の代わりに σ_b (引張強さ)を用いる。

2. 評価結果

ケース 1、2 の計算結果を、それぞれ、表1、表2に示す。これより、ケース 2 の方が圧力は大きめに評価されることが分かる。これらの相違は、ケース 1 で使用したステーによって支える平板の計算厚さの式が、計算結果としての板厚が安全側の評価となるように設定されていることによるものと思われる。また、実際の破損状況としては、ケース 1 で想定したダクトの断面方向への湾曲だけではなく、流れ方向にも湾曲が見られるため、ケース 2 の評価の方が現実的な結果が得られるものと思われる。

従って、ここでは、ケース 2、すなわち、ダクトを単純支持の長方形板で模擬してその耐圧を極限解析により求める方法を採用することとする。すなわち、ダクトの破損時に加わった圧力は、表2の P_- と P_+ との間にあるとし、非破損ダクトについては、その内圧は P_- 以下とする。

～以 上～

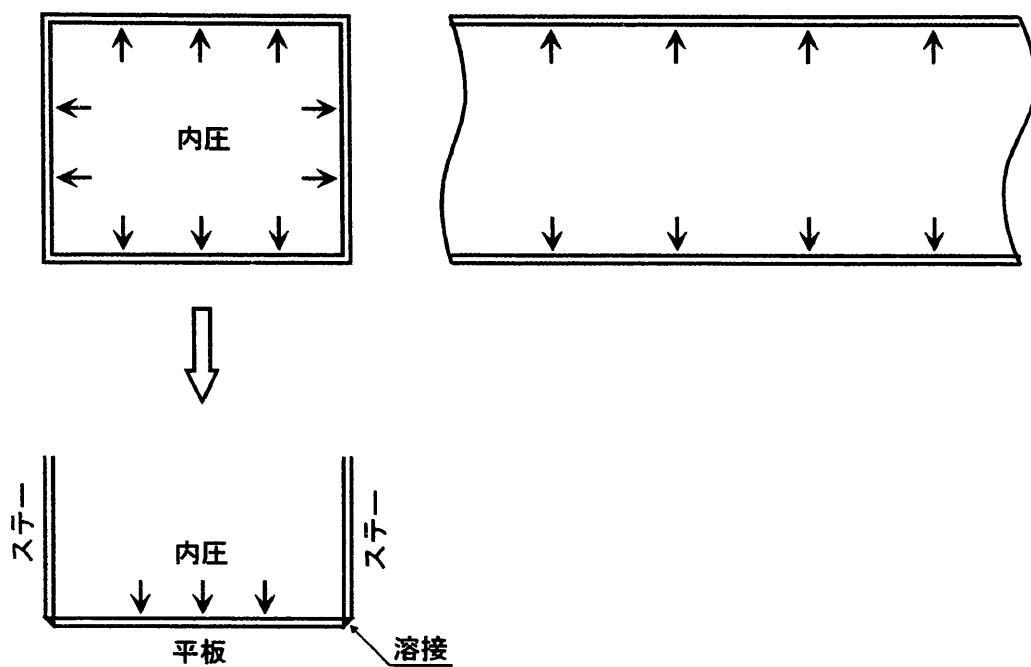


図1. ダクトをステーによって支える平板で模擬した場合

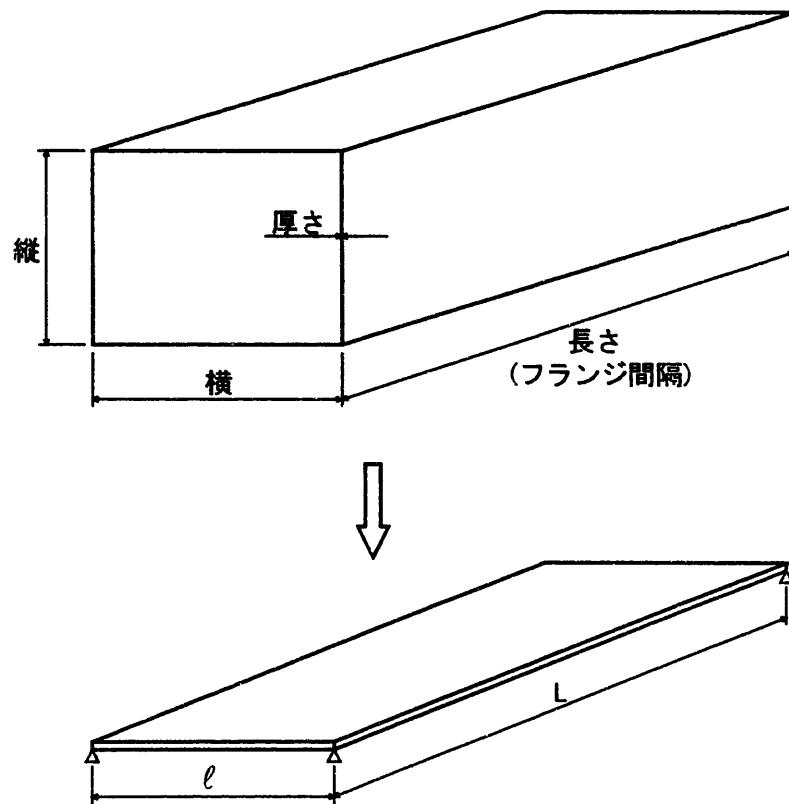


図2. ダクトを単純支持の長方形板で模擬した場合

表1. セル換気系排気ダクトにおける破壊圧力の計算結果（ケース1）

No.	破損箇所	被害状況	関連 Node No.	ダクト寸法 [mm]	ダクト板厚 t [mm]	定数 C	材料強度 σ [N/mm ²]	ステー間隔 P_c [mm]	破壊圧力 P [kgf/cm ² G]
1	①	ダクト膨らみ	2,4	700×700	2.3	2.1	245	700	> 0.057
2	②	ダクト膨らみ	5	800×600	2.3	2.1	245	600	> 0.077
3	③	ダクト破断	19	700×300	2.3	2.1	400	300	> 0.50
4	④	ダクト破断	20	700×300	2.3	2.1	400	300	> 0.50
5	⑤	ダクト膨らみ	25	1200×1000	2.3	2.1	245	1000	> 0.028
6	⑥	ダクト膨らみ	37	1200×700	2.3	2.1	245	700	> 0.057
7	⑦	ダクト膨らみ	37	1200×700	2.3	2.1	245	700	> 0.057
8	⑧	ダクト膨らみ	37	1200×1000	2.3	2.1	245	1000	> 0.028
9	⑨	ダクト膨らみ	18	1200×900	2.3	2.1	245	900	> 0.034
10	⑩	ダクト膨らみ	10	800×500	2.3	2.1	245	500	> 0.11
11	⑪	ダクト膨らみ	14	800×600	2.3	2.1	245	600	> 0.077
12	⑫	ダクト膨らみ	2,4	700×700	2.3	2.1	245	700	> 0.057
13	⑬	ダクト破断	19	700×300	2.3	2.1	400	300	> 0.50
14	⑭	ダクト膨らみ	25,26	1200×1000	2.3	2.1	245	1000	> 0.028
15	⑮	ダクト膨らみ	26	1500×1200	2.3	2.1	245	1200	> 0.019
16	⑯	ダクト膨らみ	26,27	800×800	2.3	2.1	245	800	> 0.043
17	非破壊箇所	—	8	800×500	2.3	2.1	245	800	< 0.043
18	非破壊箇所	—	12	800×500	2.3	2.1	245	800	< 0.043
19	非破壊箇所	—	16	400×350	2.3	2.1	245	400	< 0.17
20	非破壊箇所	—	17	1000×400	2.3	2.1	245	1000	< 0.028

表2. セル換気系排気ダクトにおける破壊圧力の計算結果（ケース2）

No.	破損箇所	被害状況	関連 Node No.	ダクト寸法 [mm]	板厚 h [mm]	σ [N/mm ²]	M_p [N]	ℓ [mm]	L [mm]	破壊圧力 P- [kgf/cm ² G]	破壊圧力 P+ [kgf/cm ² G]
1	①	ダクト膨らみ	2,4	700×700	2.3	245	3.24E+02	700	900	> 0.087	< 0.13
2	②	ダクト膨らみ	5	800×600	2.3	245	3.24E+02	600	900	> 0.11	< 0.16
3	③	ダクト破断	19	700×300	2.3	400	5.29E+02	300	900	> 0.53	< 0.70
4	④	ダクト破断	20	700×300	2.3	400	5.29E+02	300	900	> 0.53	< 0.70
5	⑤	ダクト膨らみ	25	1200×1000	2.3	245	3.24E+02	900	1000	> 0.059	< 0.088
6	⑥	ダクト膨らみ	37	1200×700	2.3	245	3.24E+02	700	900	> 0.087	< 0.13
7	⑦	ダクト膨らみ	37	1200×700	2.3	245	3.24E+02	700	900	> 0.087	< 0.13
8	⑧	ダクト膨らみ	37	1200×1000	2.3	245	3.24E+02	900	1000	> 0.059	< 0.088
9	⑨	ダクト膨らみ	18	1200×900	2.3	245	3.24E+02	900	900	> 0.065	< 0.098
10	⑩	ダクト膨らみ	10	800×500	2.3	245	3.24E+02	500	900	> 0.14	< 0.20
11	⑪	ダクト膨らみ	14	800×600	2.3	245	3.24E+02	600	900	> 0.11	< 0.16
12	⑫	ダクト膨らみ	2,4	700×700	2.3	245	3.24E+02	700	900	> 0.087	< 0.13
13	⑬	ダクト破断	19	700×300	2.3	400	5.29E+02	300	900	> 0.53	< 0.70
14	⑭	ダクト膨らみ	25,26	1200×1000	2.3	245	3.24E+02	900	1000	> 0.059	< 0.088
15	⑮	ダクト膨らみ	26	1500×1200	2.3	245	3.24E+02	900	1200	> 0.051	< 0.076
16	⑯	ダクト膨らみ	26,27	800×800	2.3	245	3.24E+02	800	900	> 0.074	< 0.11
17	非破壊箇所	—	8	800×500	2.3	245	3.24E+02	800	900	< 0.074	—
18	非破壊箇所	—	12	800×500	2.3	245	3.24E+02	800	900	< 0.074	—
19	非破壊箇所	—	16	400×350	2.3	245	3.24E+02	400	900	< 0.20	—
20	非破壊箇所	—	17	1000×400	2.3	245	3.24E+02	900	1000	< 0.059	—

閉囲空間におけるガス爆発時の
開口発生後の圧力挙動

閉囲空間におけるガス爆発時の開口発生後の圧力挙動

(出典： 平野敏右，ガス爆発予防技術，p119)

破口部発生後もひき続き空間内では、燃焼を継続しているので、通常は、開口発生時に見られる圧力のピーク（極大値）に続いて、残留する可燃物の燃焼により第2の圧力ピーク*が見られることがある（図3.30）。この第2ピークは、破口となった部分の面積、気相の状況にもよる。破口部の面積、気相の状況の影響をそれぞれ図3.31および3.32に示す。

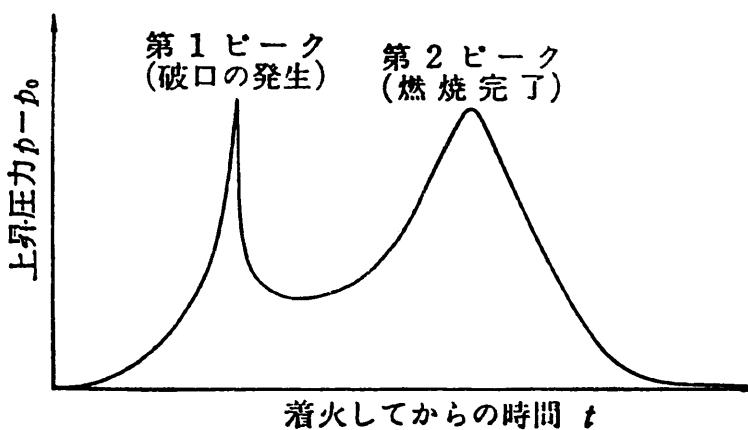


図3.30 ガス爆発時の圧力挙動

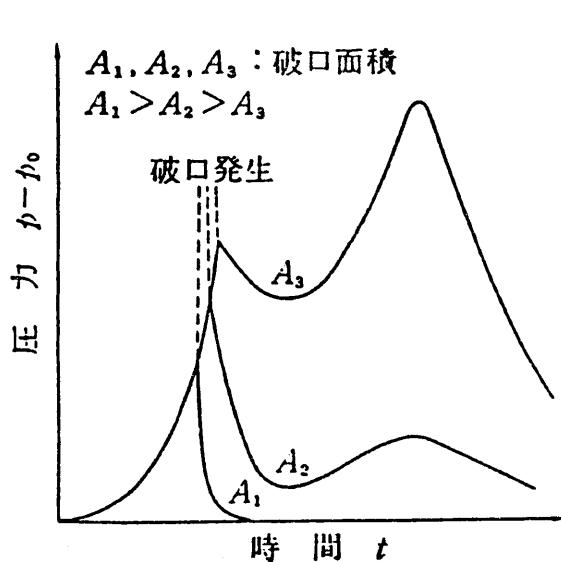


図3.31 破口部の面積による圧力挙動の違い

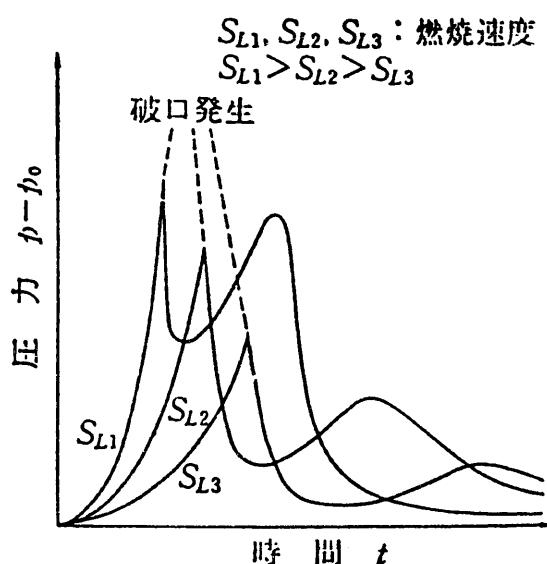


図3.32 気相の状況（燃焼速度）による圧力挙動の差

- 燃焼の様子によっては、第3、第4、以下のピークが発生する。