

ウェル型熱電対の時定数に関する解析的検討

—「もんじゅ」主冷却系ウェル型熱電対Na中応答特性確認試験の解析—

1996年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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ください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

ウェル型熱電対の時定数に関する解析的検討

－「もんじゅ」主冷却系ウェル型熱電対Na中応答特性確認試験の解析－

山下 卓哉*

要 旨

「もんじゅ」の主冷却系ウェル型熱電対の温度応答特性を調べるために、「もんじゅ」に設置されている温度計と半径方向が同寸で1/3の長さを有する温度計を製作し、小型熱衝撃試験装置を用いて温度に対する1次遅れの応答性を求めた。この試験から得られた知見を解析的な見地から確認するために、FEMによる温度応答解析を実施した。

主な結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 時定数に対する流速依存性、初期温度依存性及び温度変化幅依存性については、試験と同様な結果が得られた。これらの要因による時定数のバラツキは、試験と同様に約2秒であることが確認できた。
- (2) 時定数に対する流速依存性の要因は、流速の違いによる熱伝達率の変化に起因するものではなく、Na温度の立ち上がり速度に起因することが確認できた。
- (3) Na温度が高温になるにつれて時定数が短くなる傾向と温度変化幅が大きくなるにつれて時定数が短くなる傾向は、熱電対の材料の温度依存性に起因することが確認できた。
- (4) ウェルとシース間のギャップ間隔をパラメータとした解析から、ギャップ間隔が熱電対の時定数に与える影響が最も大きいことがわかった。1次系及び2次系熱電対のいずれもプラスの製作公差を持つ場合に時定数が大きくなり、最大の製作公差を許容した場合5～7秒の時定数の遅れになる。

* 大洗工学センター 基盤技術開発部 構造・材料技術開発室

Analytical Study on Time Constant of Well-type Thermocouples

-Analyses of temperature response tests of well-type thermocouples for Monju-

Takuya Yamashita *

Abstract

Temperature response test was conducted using the sodium loop facility of Structural Engineering Section to confirm the characteristics of the well-type thermocouples which are used in the main cooling systems of MONJU. FEM analyses were carried out to justify the results obtained from the test in the view point of analytical study.

Conclusion are as follows.

- 1) The same dependency for the time constant of the well-type thermocouples on the flow rate, the initial temperature and the range of temperature of sodium was obtained between test and analysis.
- 2) It is confirmed that the time constant of the well-type thermocouples dose not depend on the film coefficient in the range of flow rate of the test, but it depends on the change rate of sodium temperature.
- 3) It is confirmed that the dependency of the time constant on temperature is caused by thermophysical properties of the material of the well-type thermocouples.
- 4) It is found from the parametric analysis of the gap width between sheath and well that the gap width affects the time constant considerably. It is supposed that the maximum delay of the time constant is about 5 to 7 second for the well-type thermocouple which has the maximum tolerance.

* Structure and Material Research Section, Advanced Technology Division,

目 次	頁
1. 緒 言	1
2. 解析モデル	2
2.1 ウェル型熱電対のモデル化	2
2.2 物性値	2
2.3 等価なギャップ幅を定めるための予備的解析	3
3. ウェル型熱電対の応答解析結果	4
3.1 流速依存性	4
3.2 初期温度依存性	4
3.3 温度変化幅依存性	5
4. 考 察	5
4.1 流速に対する時定数の依存性について	5
4.2 時定数に対するウェルとシース間のギャップ間隔の影響	6
4.3 時定数の温度依存性について	7
5. 結 言	8
6. 謝 辞	9
参考文献	10
付録－1 ウェル型熱電対形状図	45
付録－2 熱的物性値の設定	49
付録－3 ウェル型熱電対温度応答解析の詳細	53

List of Tables

Table- 1 Film coefficient of well surface 11

Table- 2 Thermophysical properties of the air 11

Table- 3(1) Temperature response analysis cases (dependence on flow rate)..... 12

Table- 3(2) Temperature response analysis cases (dependence on
initial temperature)..... 12

Table- 3(3) Temperature response analysis cases (dependence on
temperature difference)..... 12

List of Figures

Fig. 1 Analytical model of the Well-type thermo-couple of the primary circuits	13
Fig. 2 Analytical model of the Well-type thermo-couple of the secondary circuits	14
Fig. 3(1) Finite element mesh of the primary circuit model	15
Fig. 3(2) Material number of the primary circuit model	16
Fig. 3(3) Numbering of Nodal points and elements of the sheath structure	17
Fig. 3(4) Numbering of Nodal points and elements of the well structure	18
Fig. 3(5) Boundary conditions of the primary circuit model	19
Fig. 4(1) Finite element mesh of the secondary circuit model	20
Fig. 4(2) Material number of the secondary circuit model	21
Fig. 4(3) Numbering of Nodal points and elements of the sheath structure	22
Fig. 4(4) Numbering of Nodal points and elements of the well structure	23
Fig. 4(5) Boundary conditions of the primary secondary model	24
Fig. 5 Influence of the gap width on the temperature response of the primary circuit model	25
Fig. 6 Influence of the gap width on the temperature response of the secondary circuit model	26
Fig. 7 Definition of the time constant	27
Fig. 8 Dependence of the time constant on the flow rate of the primary circuit model	28
Fig. 9 Dependence of the time constant on the flow rate of the secondary circuit model	29
Fig. 10 Dependence of the time constant on the initial temperature of the primary circuit model	30
Fig. 11 Dependence of the time constant on the initial temperature of the secondary circuit model	31
Fig. 12 Dependence of the time constant on the temperature difference of the primary circuit model	32
Fig. 13 Dependence of the time constant on the temperature difference of the secondary circuit model	33
Fig. 14(1) Dependence of the time constant on the film coefficients	34
Fig. 14(2) Dependence of the time constant on the film coefficients	35
Fig. 15(1) Dependence of the time constant on the temperature changing rate ($T_1 = 350 \text{ } ^\circ\text{C} ; \tau^* = 0.1 \text{ sec}$)	36

Fig. 15(2) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 350 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 1.0 \text{ sec}$) 37

Fig. 15(3) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 350 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 5.0 \text{ sec}$) 38

Fig. 15(4) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 350 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 10.0 \text{ sec}$) 39

Fig. 16(1) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 0.1 \text{ sec}$) 40

Fig. 16(2) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 1.0 \text{ sec}$) 41

Fig. 16(3) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 5.0 \text{ sec}$) 42

Fig. 16(4) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400 \text{ }^\circ\text{C} : \tau^* = 10.0 \text{ sec}$) 43

Fig. 17 Dependence of the time constant on the temperature changing rate 44

1. 緒 言

「もんじゅ」の1次主冷却系及び2次主冷却系に設置されているウェル型熱電対のNa中における温度応答特性を確認するために、「もんじゅ」と半径方向が同寸で1/3の長さを持つ試験体を用いた試験が行われた⁽¹⁾。その結果、ウェル型熱電対の温度応答特性について以下のような知見が得られている。

- (1) 高速流になるにつれて時定数は若干短くなる傾向が見られるが、データのバラツキ、試験体間のバラツキなどを考慮すると有意な差とは認められない。
- (2) Na温度が高温になるにつれて応答遅れ時間が短くなる傾向が認められ、350℃と500℃では約2秒の差が見られる。これは、高温になるにしたがい構成部材およびギャップ部の空気の熱伝導が向上するためと思われる。しかし、実機に設置されている熱電対の応答遅れ時間を把握することが困難であること、データのバラツキ、試験体間のバラツキなど（約2秒）を考慮すると使用上問題となる大きな温度依存性ではなく、安易に温度補正などを行う必要はないものと思われる。
- (3) 温度変化幅の時定数への影響は認められない。
- (4) 同じ温度変化幅でも熱過渡方向（Hot transient / Cold transient）によって若干異なるが、この差は上記(2)の温度依存性の傾向で説明できる。
- (5) 熱電対の製作時の製品のバラツキや据付け時のバラツキ等を考慮すると、1次主冷却系熱電対の時定数は17秒±2秒、2次主冷却系熱電対の時定数は16秒±2秒となる。

本報は、ウェル型熱電対のNa中応答特性確認試験から得られた上記の知見を解析的な見地から確認するために、FEMによる温度応答解析を行い、以下の4点について検討を加えたものである。

- (a) 時定数に対する流速依存性の検討
- (b) 時定数に対する温度依存性の検討
- (c) 時定数に対する温度変化幅依存性の検討
- (d) 時定数に対するウェルとシース間のギャップ間隔の影響

2. 解析モデル

2.1 ウェル型熱電対のモデル化

試験に用いた2タイプのウェル型熱電対は、温度応答性を合わせるために半径方向の寸法を「もんじゅ」と同じにし、試験装置の配管寸法に合わせるために温度応答性に影響を与えない範囲で長さを短くしてある（実機の約1/3）。付録-1に添付した試験体の製作図面より寸法を読み取り、2次元軸対象でモデル化した。1次系用ウェル型熱電対及び2次系用ウェル型熱電対の解析モデル形状をFig. 1及びFig. 2にそれぞれ示す。

熱電対ウェルと配管の接合部からの軸方向の入熱（放熱）が考えられるが、ナトリウム側からの入熱の方が圧倒的に大きいことから、解析モデルは熱電対の感熱部から十分離れた位置を断熱境界とした。要素分割数については、詳細な温度分布を求める解析ではないため、温度応答が必要十分な精度で計算できる範囲にとどめた。また、感熱部の位置と温度出力点がほぼ一致するように節点の位置を合わせた（感熱部は熱電対の電気的な絶縁材として充填されているMgOの下端から3D/4の位置。Dはシース直径）。

1次系用ウェル型熱電対モデル及び2次系用ウェル型熱電対モデルの要素分割図、各要素の物性値番号対応図、シース側モデルの接点・要素番号、ウェル側モデルの接点・要素番号及び熱的境界条件をそれぞれFig. 3(1)～Fig. 3(5)及びFig. 4(1)～Fig. 4(5)に示す。使用要素は、以下の通りである。

熱伝導 6 接点三角形軸対象要素	: HTAX6	⇒ (シース、ウェル、MgO、空気層)
熱伝導 8 接点四辺形軸対象要素	: HQAX8	⇒ (シース、ウェル、MgO、空気層)
熱伝達 3 接点軸対象要素	: FCAX3	⇒ (熱伝達面)
熱伝達リンク 6 接点四辺形軸対象要素	: CALINK6	⇒ (シース・ウェル 接触熱抵抗)

2.2 物性値

SUS304鋼及びSUS316鋼の物性値については、FINASのライブラリーの値を用いる。このため、他の物性値についてもFINASのライブラリーの単位系であるmm、sec.、°C、kcalに統一した。

1次系熱電対のシース部材にはSUS347鋼が使われているが、SUS347鋼の物性値は知られていない。SUS347鋼の組成はSUS304鋼とほぼ同じであることから、SUS304鋼の物性値を用いた。MgOの熱伝導率は以下の値（一定値）とした⁽²⁾。

$$\lambda_{\text{MgO}} = 2.7 \times 10^{-7} \text{ kcal/mms}^{\circ}\text{C} \quad (0.975 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C})$$

シースとウェルの接触熱抵抗の算出は、伝熱工学資料改定第4版⁽³⁾より

$$1/R = 1.39 \times 10^{-7} \text{ kcal/mm}^2\text{s}^{\circ}\text{C}$$

とした。ナトリウム接液面の熱伝達率の算出は、伝熱工学資料改定第4版の直交する一様流中の円柱まわりの式を用いた。熱伝達率については、巻末の付録2に示すように温度依存性がほとんどないため、流速依存性のみを考慮した。シースとウェルの間の半径方向のギャップについては輻射熱伝達を考慮し、空気の物性値は伝熱工学資料改定第4版によった。輻射熱伝達は、簡単のため輻射による熱移動を熱伝導に換算し、ギャップの空気層の等価な熱伝導率として扱った。ナトリウム接液面の熱伝達率及び空気層の物性値をそれぞれTable-1及び2に示す。また、これらの設定根拠を付録-2に示す。

2.3 等価なギャップ幅を定めるための予備的解析

シース・ウェル間の半径方向ギャップの間隔については、シースのたわみやシース及びウェルの製作誤差等が有るため、必ずしも正確にモデル化できていない可能性が大きい。また、ギャップの間隔以外に解析に影響する不確定要因として、シース下端部とウェルとの接触状態（接触熱抵抗）及びMgOの熱伝導率の不確かさ*が考えられるが、これらについては正確な値を推定することが困難である。従って、これらの不確定要因による解析の誤差を解消するために、解析結果と試験結果が合うようにシース・ウェル間の空気層の幅を調整する。ただし、ギャップ幅の異なる解析モデルを幾つも作るのは効率的でないため、ギャップ幅の違いを空気層の等価な熱伝導率の違いに置き換えた。

Fig. 5に1次系熱電対モデルに対するサーベイ結果を、Fig. 6に2次系熱電対モデルに対するサーベイ結果を示す。1次系熱電対モデルについては、ギャップ幅を0.1～0.2 mmの範囲でサーベイした（設計上のギャップ幅は0.1 + 0.1 mm：+0.1 mmは許容公差）。2次系熱電対モデルについては、ギャップ幅を0.2～0.4 mmの範囲でサーベイした（設計上のギャップ幅は0.4 ± 0.2 mm：±0.2 mmは許容公差）。これらのサーベイ結果に基づき、以下の温度応答解析では、1次系熱電対モデルのギャップ幅を0.138 mm、2次系熱電対モデルのギャップ幅を0.3 mmに設定した。これらの値は、ともにウェル及びシースの製作公差範囲の値であり、妥当なものと判断できる。

* [注]

熱電対の電氣的な絶縁材として使われているMgOは、一度セラミックス状に焼き固められたものであるが、シースを加工する際に潰されて粉末状に戻っている。このため、充填密度が変化し、正確な熱伝導率が求められていない。前頁に示した参考文献[2]のMgOの熱伝導率は、シース熱電対を使って実験的に求められたものであるが、その際の試験温度が60℃であることとMgOの熱伝導率が温度依存性を有することを考慮すると、本試験の温度

条件下では多少異なった値になっているものと考えられる。

3. ウェル型熱電対の応答解析結果

ウェル型熱電対の時定数に対する流速依存性、初期温度依存性及び温度変化幅依存性を調べるために、試験結果の中からそれぞれTable-3(1)~(3)に示す試験ケースを選び、温度応答解析を行った。この結果を以下に述べる。個々の解析結果の詳細については付録3を参照されたい。なお、解析には試験結果から得られたNa温度変化を用いた。

3.1 流速依存性

熱電対の時定数 τ は、Fig. 7(1)に示すようなステップ状の温度変化 ΔT が与えられた場合に、熱電対の温度が温度変化を受けた時点から $(1 - e^{-1}) \Delta T$ に変化するまでの時間として定義されている。しかしながら、温度応答特性試験で与えたNa温度変化は試験装置自身を持つ熱容量の影響で理想的なステップ状にはなっていない。そこで、本試験ではFig. 7(2)に示すように、Na温度と熱電対の温度がそれぞれ $(1 - e^{-1}) \Delta T$ に達した時間の差を時定数 τ として用いた。

このように定義した時定数を縦軸にとり、横軸に流量をとって整理した1次系熱電対モデルの応答解析結果をFig. 8に、2次系熱電対モデルの応答解析結果をFig. 9にそれぞれ示す。図中の■は試験結果、□は解析結果を示している。これらの図から、試験結果と同様に、Na流量が増すにつれて時定数が小さくなる傾向が確認できる。

流量に対する依存性の要因としては、Na流速の違いによる熱伝達率の変化と流速の違いによるNa温度の変化速度の差が熱電対の時定数に影響を与えている可能性が考えられるが、これらの点については章を改めて考察する。

3.2 初期温度依存性

時定数を縦軸にとり、横軸に初期温度 T_i をとって整理した1次系熱電対モデルの応答解析結果をFig. 10に、2次系熱電対モデルの応答解析結果をFig. 11にそれぞれ示す。これらの図から、試験結果と同様に、初期温度が高くなるにつれて時定数が小さくなる傾向が確認できる。

初期温度が高くなるにつれて時定数が小さくなる理由は、参考文献[1]にも述べられているとおり、ウェル及び熱電対シースの材料であるステンレス鋼と空気層の熱伝導率の温度依存性に起因しているものと思われるが、この点についても次章で考察を加える。

3.3 温度変化幅依存性

時定数を縦軸にとり、横軸に温度変化幅 ΔT をとって整理した1次系熱電対モデルの応答解析結果をFig. 12に、2次系熱電対モデルの応答解析結果をFig. 13にそれぞれ示す。これらの図から、試験結果と同様に、 ΔT が大きくなるにつれて時定数が小さくなる傾向が確認できる。

これらの図に示した試験結果は、初期温度が同じ(350℃)ホットランジェントの条件で最終温度を変えることによって温度変化幅を変化させたものである。従って、温度変化幅 ΔT が大きくなるにつれて時定数が小さくなる理由は、初期温度依存性と同様にステンレス鋼と空気層の熱伝導率の温度依存性に起因しているものと思われる。

4. 考察

4.1 流速に対する時定数の依存性について

流速に対する依存性の要因としては、3.1で述べたように以下の2点が考えられる。

- 1) Na流速の違いによる熱伝達率の変化
- 2) Na温度の変化速度の差

そこで、上記の要因を分離するために、

- 1) Na温度の変化速度を一定とし(完全なステップ状温度変化とした)、熱伝達率を試験の範囲で変化させる。
- 2) 熱伝達率を一定とし、Na温度の変化速度(Na温度を $\exp(-t/\tau^*)$ で変化させた)を変える。

ことにより、それぞれの影響感度を調べた。

Fig. 14(1)及び(2)に、1次系熱電対モデルを使って計算した、熱伝達率が異なる場合の熱電対の温度応答を示す。Fig. 14(1)は初期温度が350℃で ΔT が50℃の場合で、Fig. 14(2)は初期温度が400℃で ΔT が50℃の場合である。試験範囲の流速の下限と上限を含む、30、100、200 l/minに相当する熱伝達率を与えた。これらの図から、Na温度の変化速度を一定とした場合には、試験の流速範囲で熱伝達率を変えても熱電対の時定数にはほとんど影響しないことがわかる。即ち、本試験のNa流速の範囲から計算される熱伝達率はウェルやシースの熱通過率と比較して非常に大きいため(10⁴ Kcal/m²h℃以上: Table-1 参照)、Naに接触している表面の熱通過率は、最もNa流速が遅いケースであっても事実上無限大と考えて良く、本試験のNa流速の範囲では時定数にはほとんど影響しないものと言える。

Fig. 15(1)~(4)及びFig. 16(1)~(4)に、1次系熱電対モデルを使って計算した、熱伝達率が一定でNa温度の変化速度を変えた場合の熱電対の温度応答を示す。Fig. 15(1)~(4)は初期温度が

350 °Cで ΔT が50°Cの場合で、Fig. 16(1)～(4)は初期温度が400 °Cで ΔT が50°Cの場合である。Na温度の変化は、

$$T(t) = T_i + \Delta T \times [1 - \exp(-t/\tau^*)] \quad (1)$$

で与えた。ここに、 τ^* はNa温度の変化速度を特徴付ける時定数である (Fig. 7 参照)。

Fig. 17に、横軸のNa温度の変化速度を特徴付ける時定数 τ^* をとり、縦軸に熱電対の時定数 τ をとって、Fig. 15(1)～(4)及びFig. 16(1)～(4)に示した解析結果を整理したものを示す。これらの図から、Na温度の変化速度を特徴付ける時定数 τ^* が1秒までは熱電対の時定数 τ に変化はないが、 τ^* が1秒を越えると τ^* の増大に伴って熱電対の時定数が長くなり、 τ^* が10秒に対して約2秒の遅れを生じることがわかる。また、試験の最小流量30 l/minに対する τ^* は約5～10秒であるが、Fig. 17から $\tau^* = 5 \sim 10$ 秒に対しては、約1～2秒の遅れを生じることになる。このことは、今回の試験のように、ステップ状の温度変化に比べて緩やかな温度変化が与えられた場合には、ステップ状の温度変化で定義される本来の意味での時定数より長めに評価することを示している。

以上の結果から、流速に対する時定数の依存性は、熱伝達率の変化ではなくNa温度の立ち上がり速度に起因するものと判断される。

4.2 時定数に対するウェルとシース間のギャップ間隔の影響

ウェルとシース間のギャップ間隔を変化させた解析結果から、ギャップ間隔の違いが熱電対の時定数に与える影響が最も大きいことがわかる。熱電対の製作公差として、1次系の熱電対に対しては+0.1 mm、2次系の熱電対に対しては ± 0.2 mmが許容されている。Fig. 5及びFig. 6からわかるように、1次系及び2次系熱電対のいずれもプラスの公差を持つ場合に時定数が大きくなり、1次系熱電対については+0.1 mmのギャップの変化が約7秒の時定数の遅れになる。また、2次系熱電対については、+0.2 mmギャップの変化が5～6秒の時定数の遅れになるであろう。安全設計で用いている時定数は1次系が30秒、2次系が20秒であるが、試験結果は1次系が約17秒、2次系が約16秒である。従って、1次系熱電対は最大のプラス公差であっても十分な余裕がある。2次系熱電対は、最大のプラス公差の場合には安全設計で用いた時定数20秒を若干越える可能性があるが、試験から得られた時定数は、4.1節で述べたように本来の意味での時定数より長めに評価していることを考慮すると、ほぼこの値におさまるものと考えられる。試験では1次系及び2次系ともに3体の試験体を用いたが、時定数のバラツキはいずれも ± 2 秒以内であった。従って、通常の製作誤差範囲ではこの程度におさまるものと期待できるが、2次系用の熱電対は裕度が少ないので、その製作に当たっては製作公差を1次系と同程度に抑えておく方が良いであろう。

4.3 時定数の温度依存性について

Fig.17には、初期温度の異なる条件（350℃と400℃）に対する解析結果が併記されているが、熱伝達率と温度変化幅は同じであるから異なるのは物性値の温度依存性のみである。このことから、初期温度の違いによる時定数の差は、熱電対部材の物性値の温度依存性に起因していることが確認できる。

本解析で温度依存性を考慮したのは、熱電対部材のステンレス鋼とウェルとシース間の空気の物性値である。熱容量（ $\gamma \times c_p$ ）については、空気の熱容量は小さくステンレス鋼の熱容量はほとんど温度依存性がないため、いずれも時定数には寄与していない。一方、熱伝導率は、空気及びステンレス鋼ともに高温の方が高くなり、試験温度範囲（300～500℃）では、空気が約25%、ステンレス鋼が約15%の差になる。温度が高くなると時定数が短くなる傾向は、この依存性により説明できる。即ち、熱電対の時定数の温度依存性は、ウェルおよびシース部材の熱伝導率の温度依存性によるものと言える。

5. 結 言

ウェル型熱電対のNa中応答特性確認試験から得られた温度応答特性に関する知見を解析的な見地から確認するために、F E Mによる温度応答解析を実施した。

主な結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) 時定数に対する流速依存性、初期温度依存性及び温度変化幅依存性については、試験と同様な結果が得られた。これらの要因による、時定数のバラツキは約2秒であることが確認できた。
- (2) 時定数に対する流速依存性の要因は、流速の違いによる熱伝達率の変化に起因するものではなく、Na温度の立ち上がり速度に起因することが確認できた。
- (3) Na温度が高温になるにつれて時定数が短くなる傾向と温度変化幅が大きくなるにつれて時定数が短くなる傾向は、熱電対の材料の温度依存性に起因することが確認できた。
- (4) ウェルとシース間のギャップ間隔をパラメータとした解析から、ギャップ間隔が熱電対の時定数に与える影響が最も大きいことがわかった。1次系及び2次系熱電対のいずれもプラスの公差を持つ場合に時定数が大きくなり、最大の製作公差を許容した場合5～7秒の時定数の遅れになる。

実際にもんじゅの1次系で使用されている熱電対と今回試験に用いた熱電対では、ウェルとシース間のギャップの気体が異なるが（もんじゅの1次系は純粋な窒素）、空気と純粋な窒素の熱的物性値にはほとんど差がないため、上記の結果はもんじゅの熱電対に対してもそのまま成り立つものと考えられる。

6. 謝 辞

本検討に使用した解析の実施、結果の整理については、ISL の千葉氏に協力頂いた。また、本報告書をまとめるに当たって、もんじゅ建設所の永田担当役、試験を担当された安全工学部機安室の石崎副主研、菊池主査ならびに炉工室の軍司主査からは有益なコメントを頂きました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- [1] 石崎 公人, 軍司 稔, 菊池 政之、「もんじゅ」主冷却系ウェル型熱電対のNa中応答特性確認試験：PNC ZN941 93-130 (1993年)
- [2] 中本 香一郎他、熱電対応答特性試験（Ⅱ）, 「常陽」および「もんじゅ」燃料集合体出口温度計（ウェル型熱電対）の時定数測定と解析評価：PNC N941 82-168 (1982年)
- [3] 伝熱工学資料, 改定第4版, 日本機会学会, P. 30～31(1986)

Table-1 Film coefficient of well surface

流速 u (m/s)	熱伝達率 α Kcal/m ² h °C (Kcal/mm ² s °C)	
	D = 10 mm	D = 13 mm
0.23	6.24×10^4 (1.73×10^{-5})	5.57×10^4 (1.55×10^{-5})
0.38	8.30×10^4 (2.31×10^{-5})	7.41×10^4 (2.06×10^{-5})
0.60	1.078×10^5 (2.99×10^{-5})	9.64×10^4 (2.68×10^{-5})
0.78	1.253×10^5 (3.48×10^{-5})	1.121×10^5 (3.11×10^{-5})
1.13	1.552×10^5 (4.31×10^{-5})	1.389×10^5 (3.86×10^{-5})
1.51	1.835×10^5 (5.10×10^{-5})	1.644×10^5 (4.57×10^{-5})

Table-2 Thermophysical properties of the air

温度 T (°C)	比重 γ (kg/mm ³)	比熱 C (Kcal/kg°C)	等価熱伝導率 λ_{eq} (Kcal/mm s °C)	
			$\delta_{gap} = 0.1$ mm	$\delta_{gap} = 0.4$ mm
300	5.93×10^{-10}	0.252	1.12×10^{-8}	1.30×10^{-8}
350	5.48×10^{-10}	0.253	1.21×10^{-8}	1.44×10^{-8}
400	5.08×10^{-10}	0.255	1.30×10^{-8}	1.58×10^{-8}
450	4.73×10^{-10}	0.258	1.38×10^{-8}	1.74×10^{-8}
500	4.42×10^{-10}	0.261	1.47×10^{-8}	1.90×10^{-8}

Table- 3 (1) Temperature response analysis cases
(dependence on flow rate)

試験 No	初期温度 (°C)	最終温度 (°C)	温度幅 (°C)	流 速 (l/min)	時定数 (実験値)
TEST02-1	350	400	50	200	19.0
TEST04-3	350	400	50	100	19.6
TEST07-5	350	400	50	30	20.0

Table- 3 (2) Temperature response analysis cases
(dependence on initial temperature)

試験 No	初期温度 (°C)	最終温度 (°C)	温度幅 (°C)	流 速 (l/min)	時定数 (実験値)
TEST02-1	350	400	50	200	19.0
TEST08-3	400	450	50	200	18.7
TEST09-3	450	500	50	200	18.0

Table- 3 (3) Temperature response analysis cases
(dependence on temperature difference)

試験 No	初期温度 (°C)	最終温度 (°C)	温度幅 (°C)	流 速 (l/min)	時定数 (実験値) (sec)
TEST01-3	350	370	20	200	19.3
TEST02-1	350	400	50	200	19.0
TEST15-3	350	430	80	200	18.4
TEST17-3	350	480	130	200	18.0

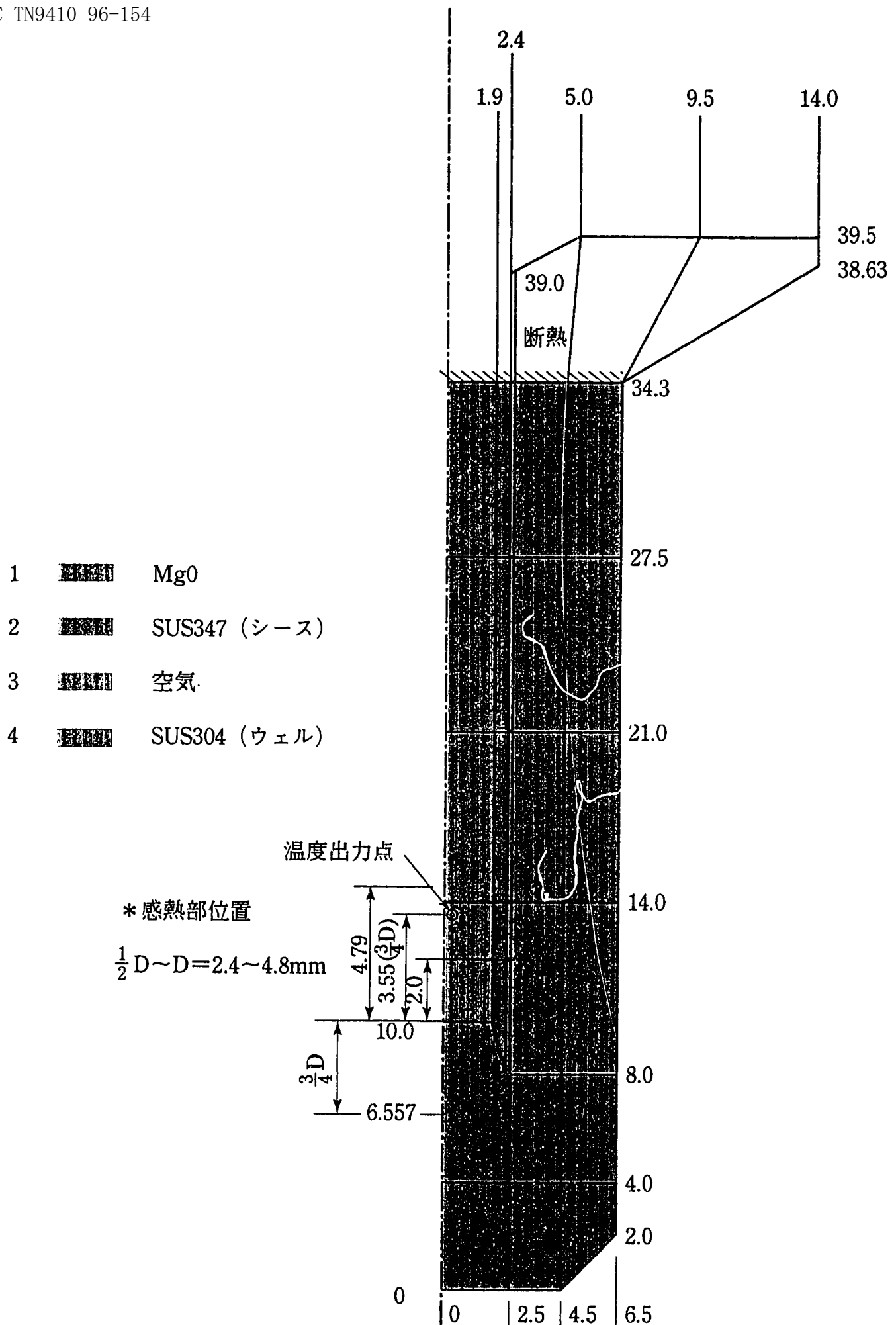


Fig. 1 Analytical model of the Well-type thermo-couple of the primary circuits

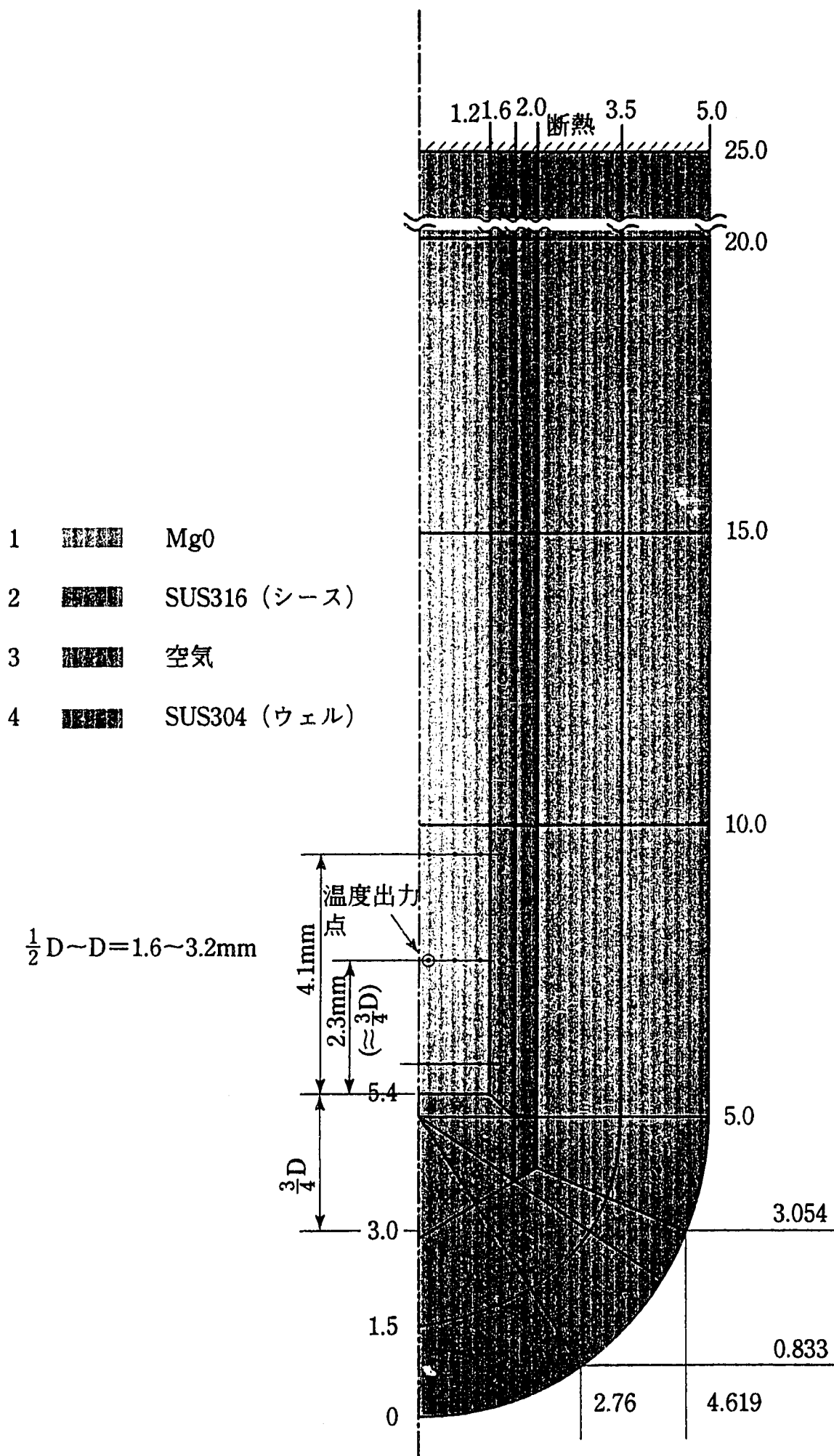
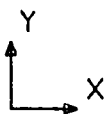
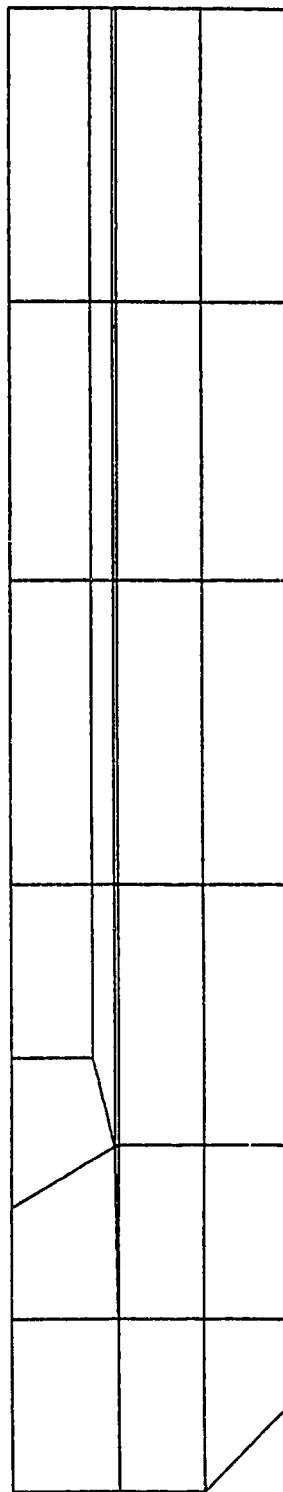


Fig. 2 Analytical model of the Well-type thermo-couple of the secondary circuits

FINAS



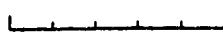
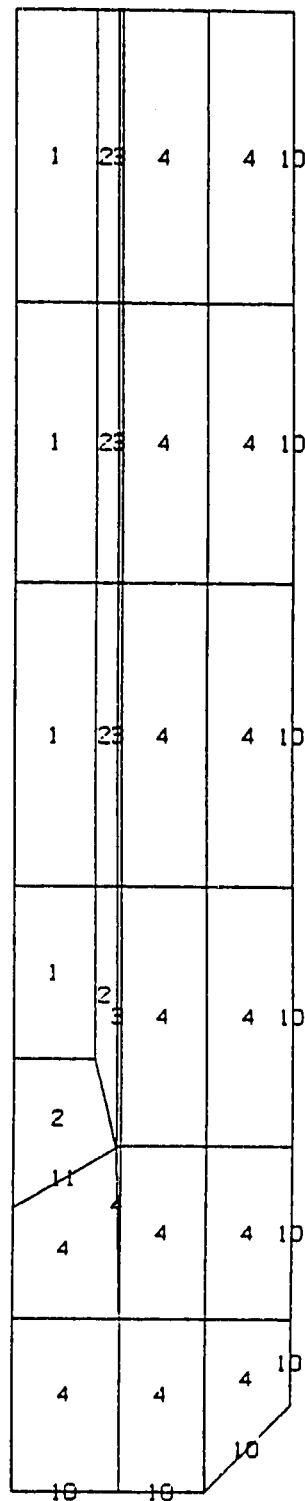
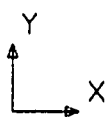
GEOM. SCALE  5.00000

fig. 3(1) Finite element mesh of the primary circuit model

FINAS



1:MgO
 2:SUS347
 3:空気
 4:SUS304




GEOM. SCALE  5.00000

Fig. 3(2) Material number of the primary circuit model

FINAS

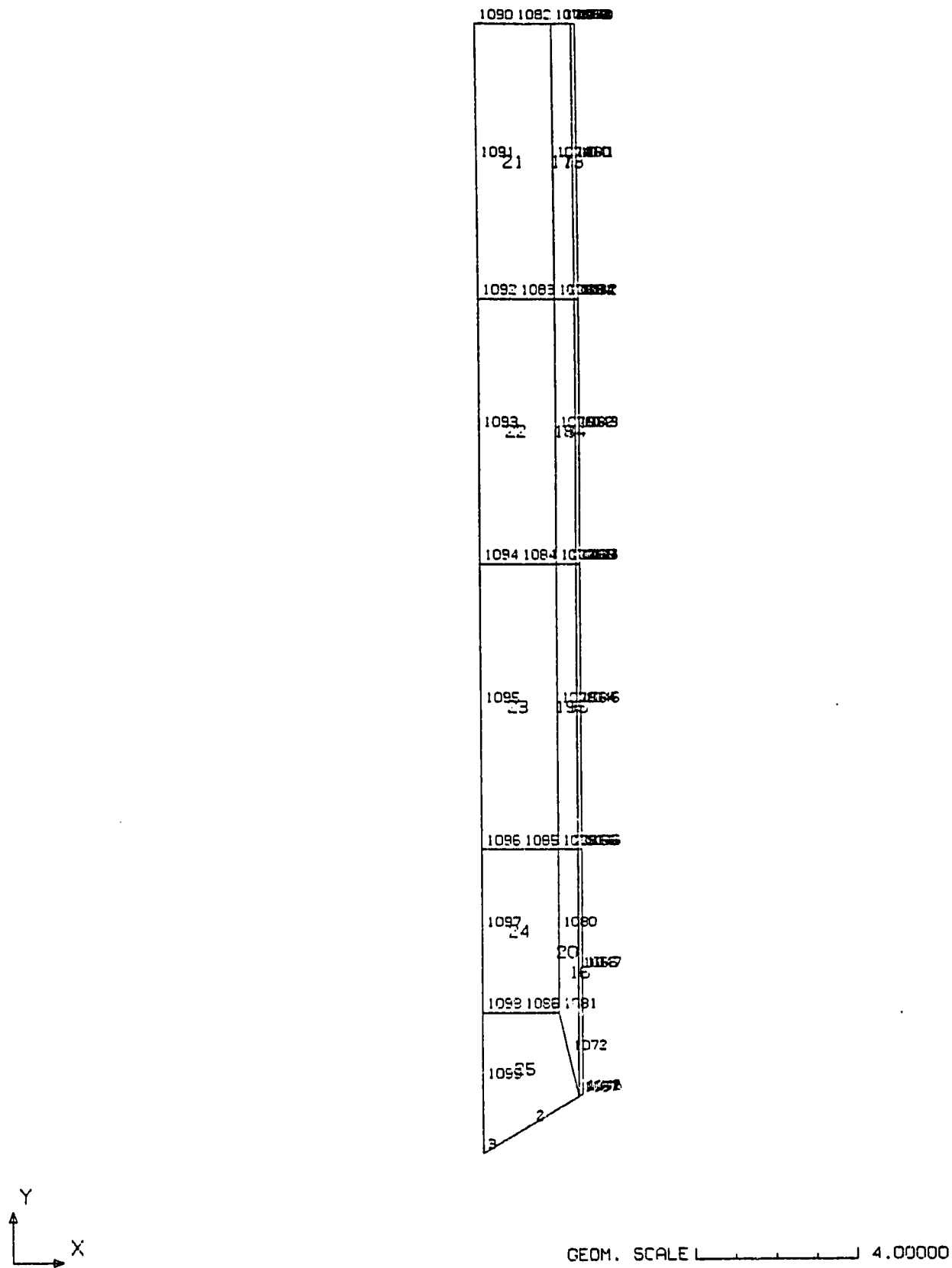
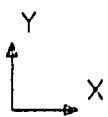
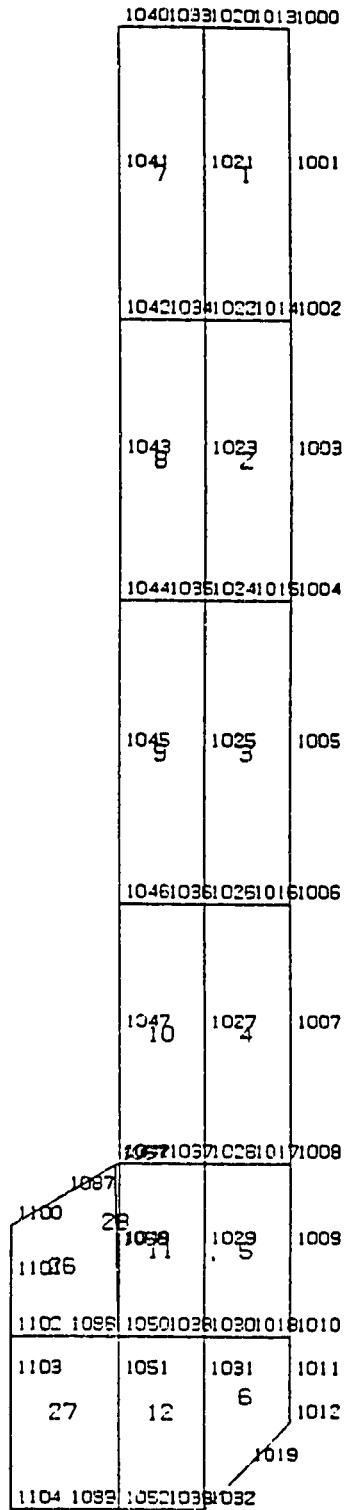


Fig. 3(3) Numbering of Nodal points and elements of the sheath structure

FINAS



GEOM. SCALE 5.00000

Fig. 3(4) Numbering of Nodal points and elements of the well structure

FINAS

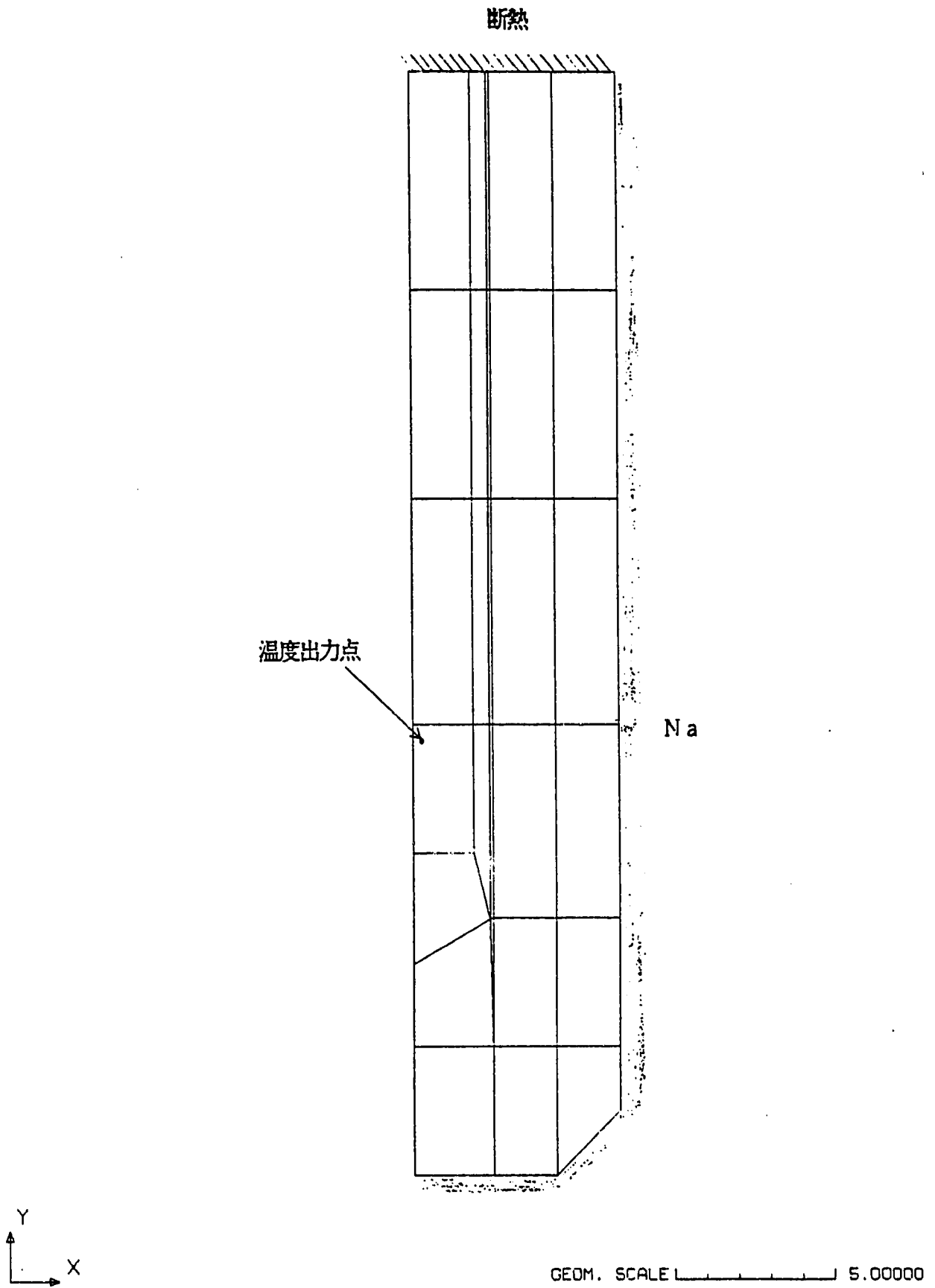
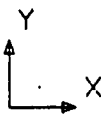
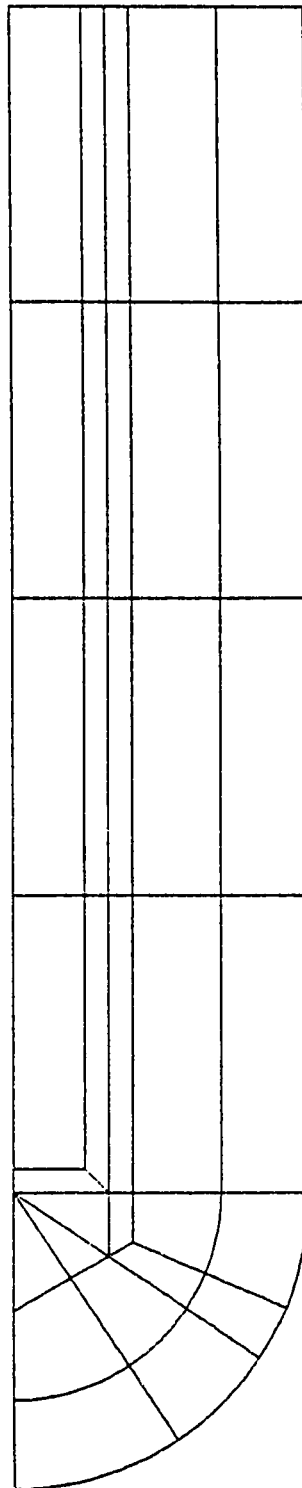


Fig. 3(5) Boundary conditions of the primary circuit model

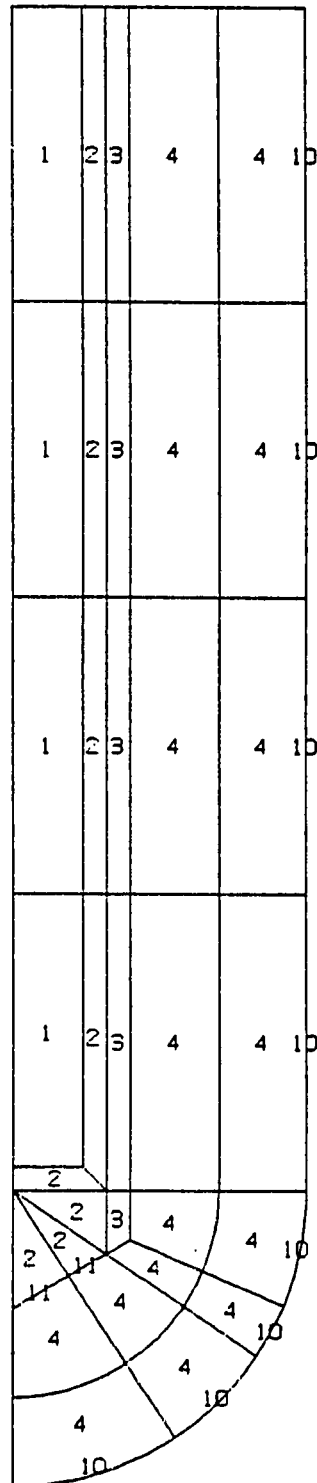
FINAS



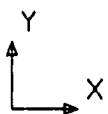
GEOM. SCALE  4.00000

Fig. 4(1) Finite element mesh of the secondary circuit model

FINAS



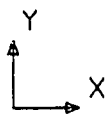
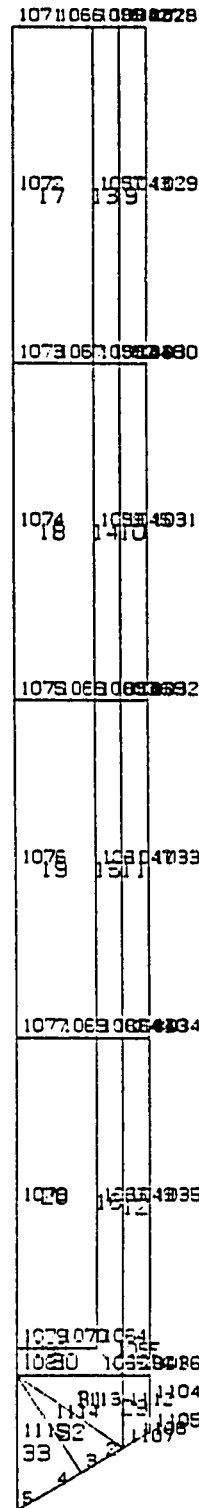
- 1:MgO
- 2:SUS316
- 3:空気
- 4:SUS304



GEOM. SCALE  4.00000

Fig. 4(2) Material number of the secondary circuit model

FINAS




GEOM. SCALE  3.00000

Fig. 4(3) Numbering of Nodal points and elements of the sheath structure

FINAS

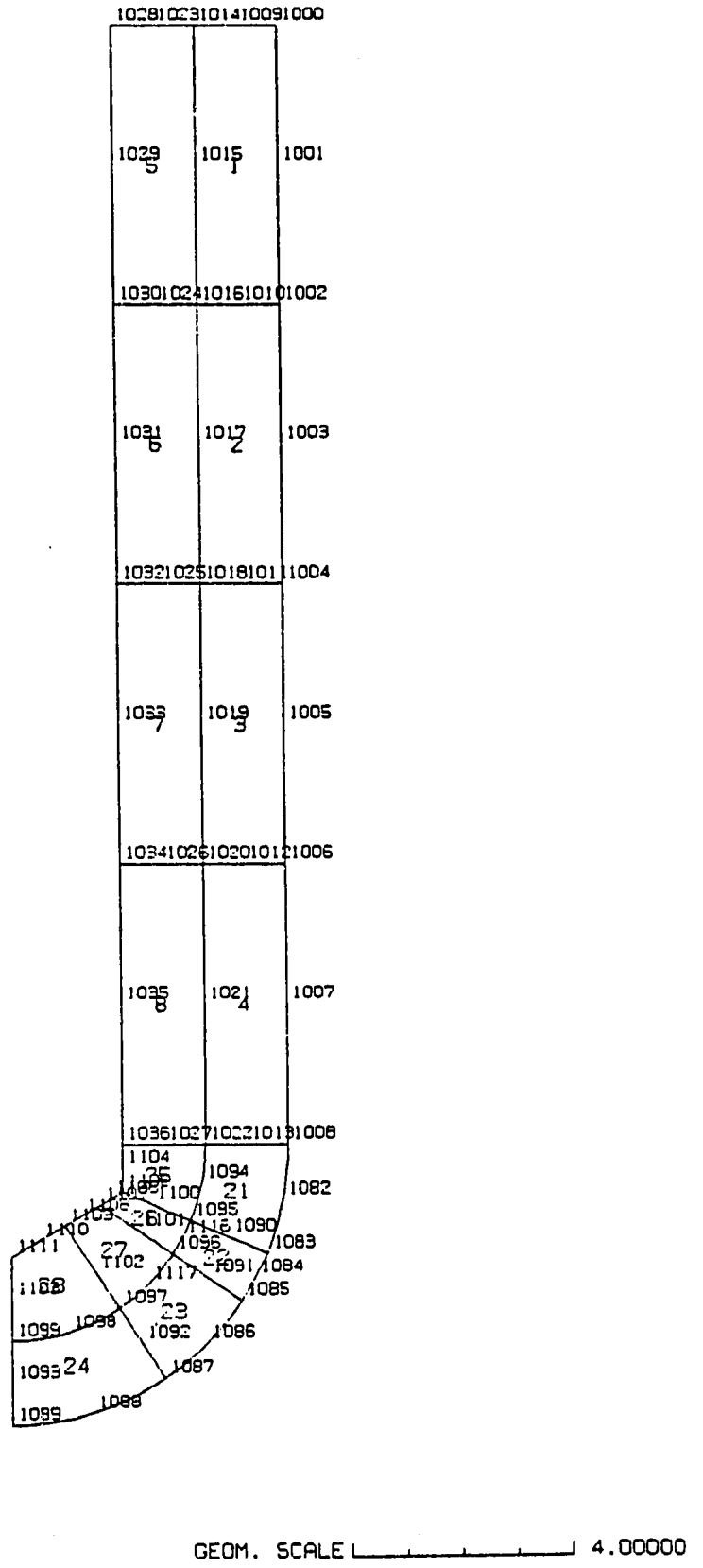


Fig. 4(4) Numbering of Nodal points and elements of the well structure

FINAS

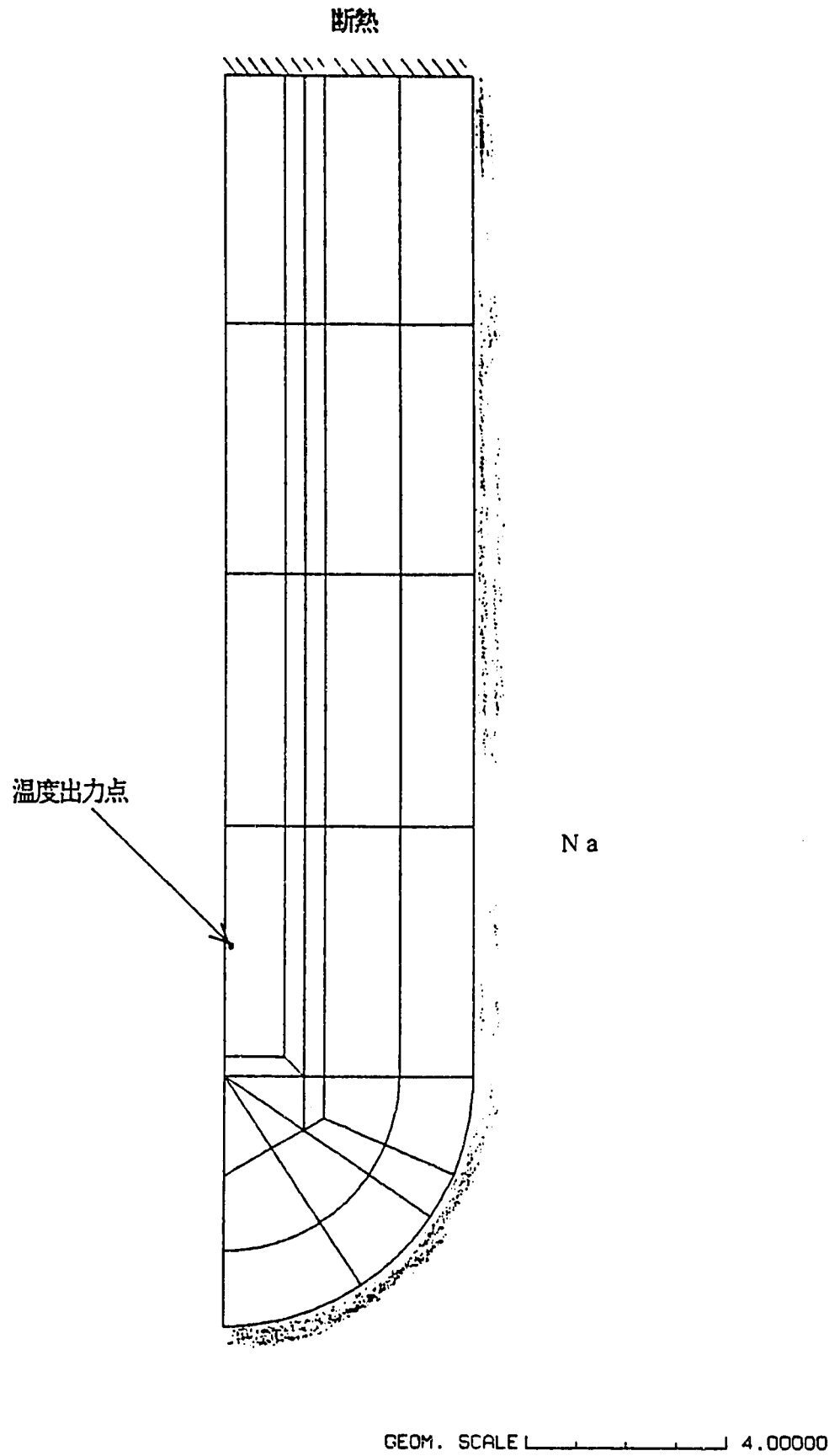


Fig. 4(5) Boundary conditions of the primary secondary model

TEST02-1、流速 1.51m/s、接触熱抵抗 $1.39E-7$ 、MgO $2.71E-7$ 一定、1次系簡易モデル

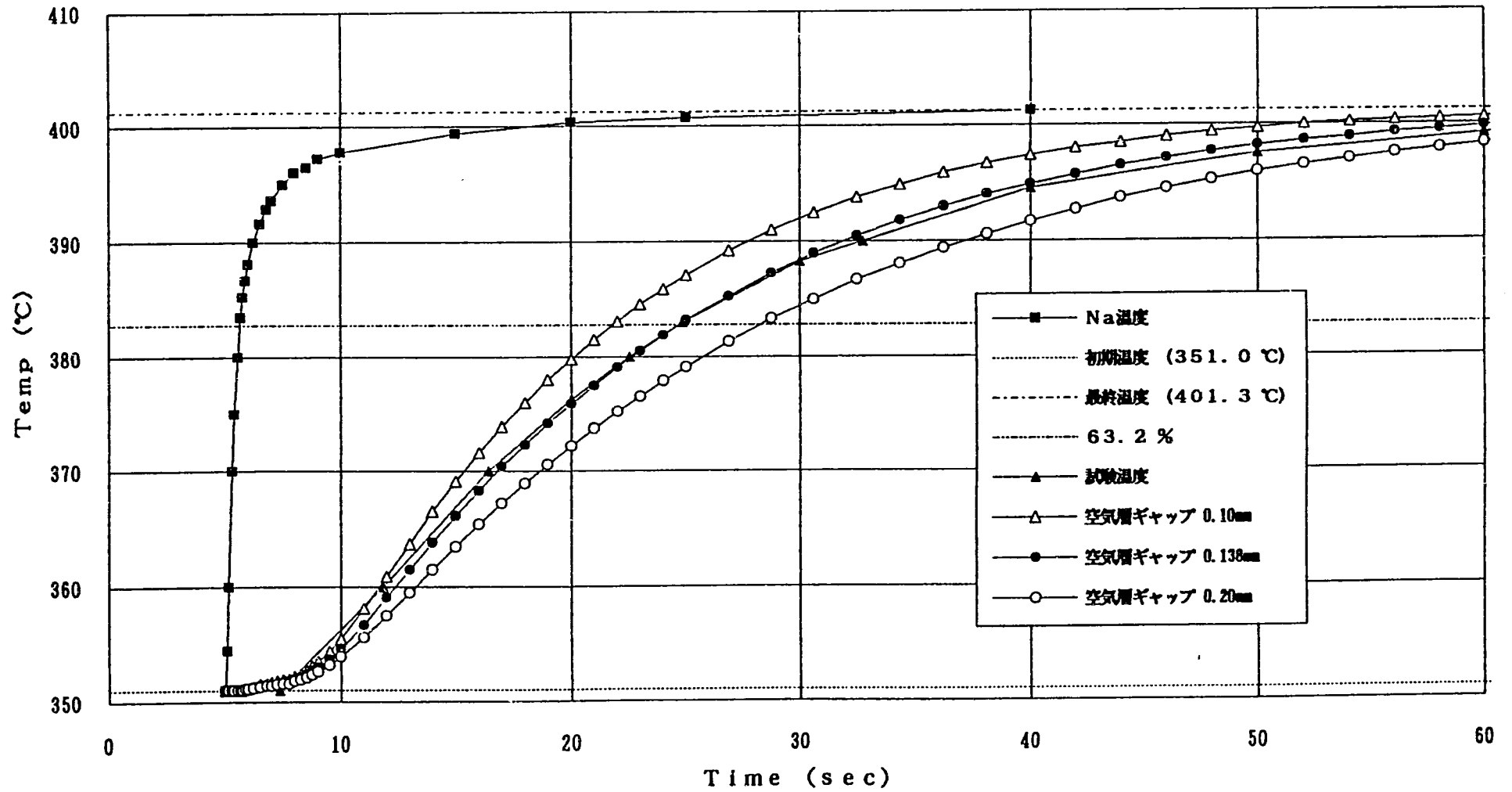


Fig. 5 Influence of the gap width on the temperature response of the primary circuit model

TEST02-1 結果、流速 1.51 m/s、接触熱抵抗 1.39E-7、2次系熱電対

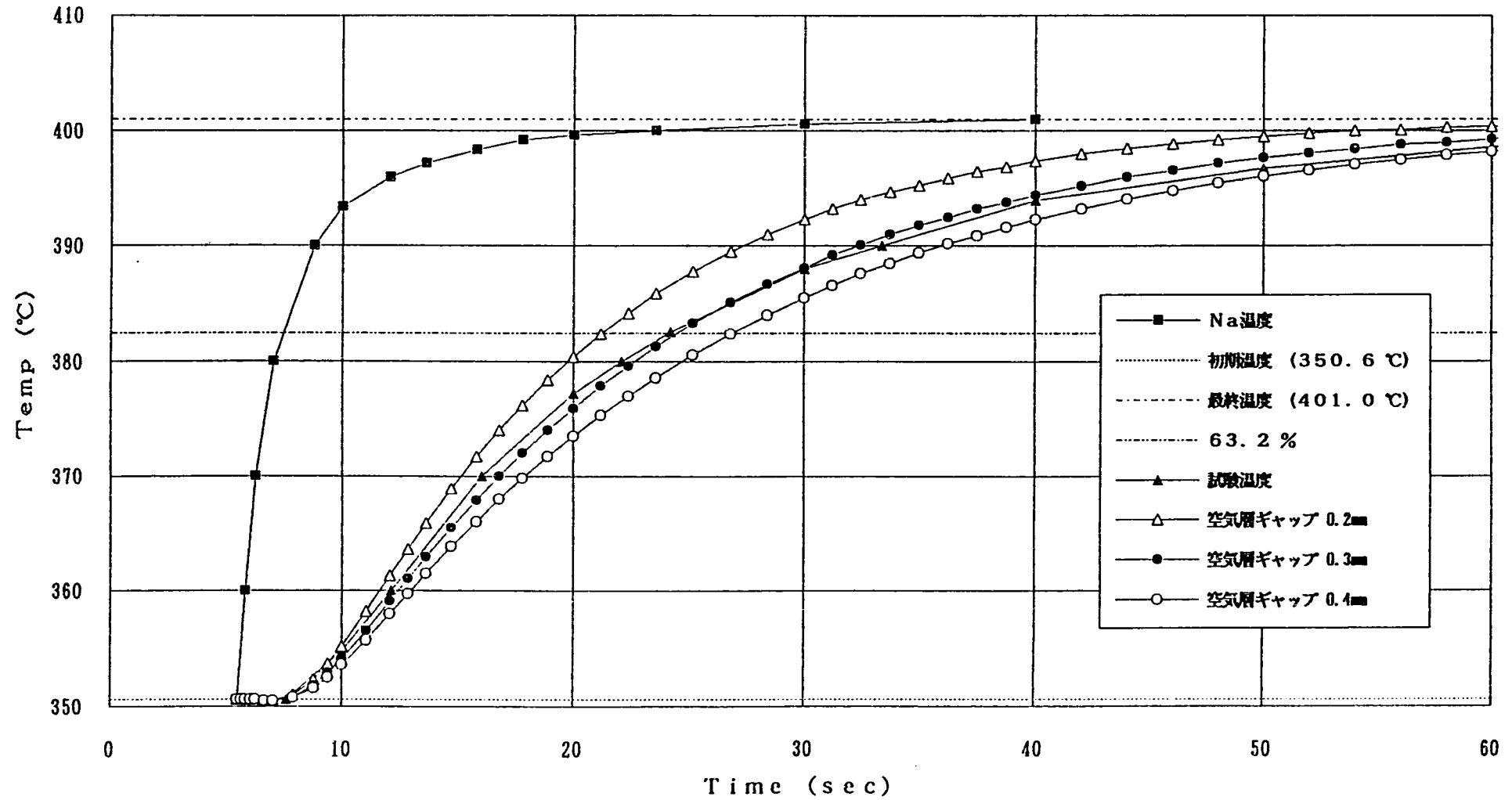
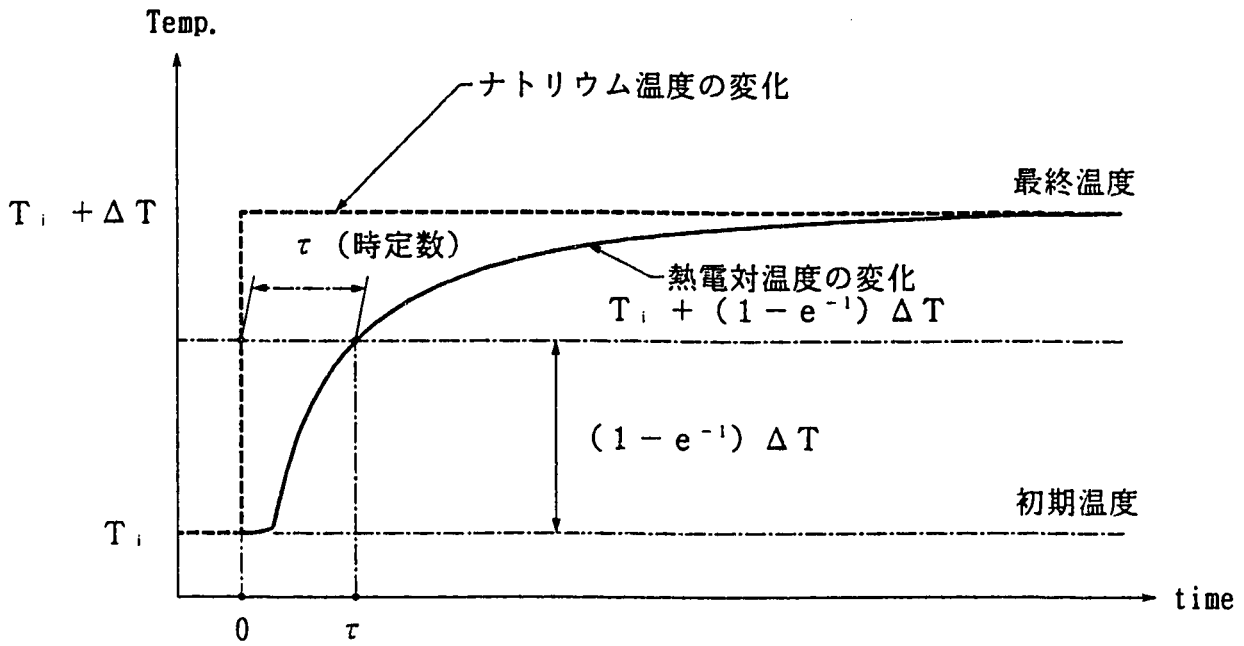
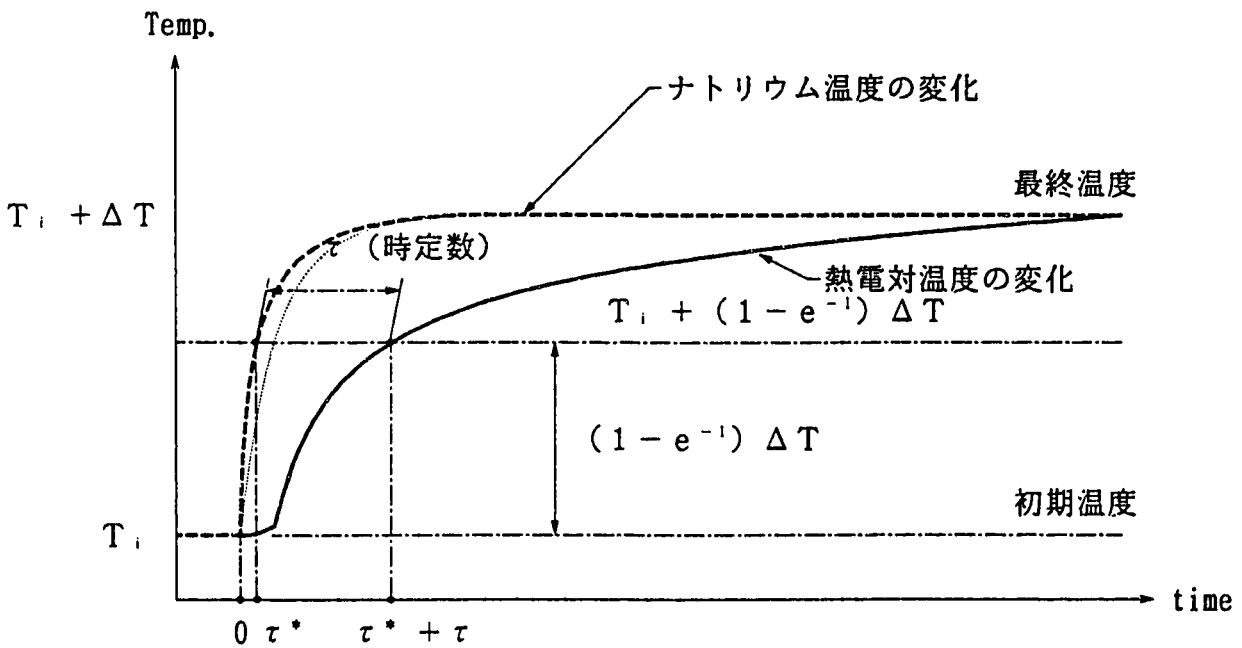


Fig. 6 Influence of the gap width on the temperature response of the secondary circuit model



(1) ステップ応答法による時定数の定義



(2) 本試験における時定数の定義

Fig. 7 Definition of the time constant

流量依存性

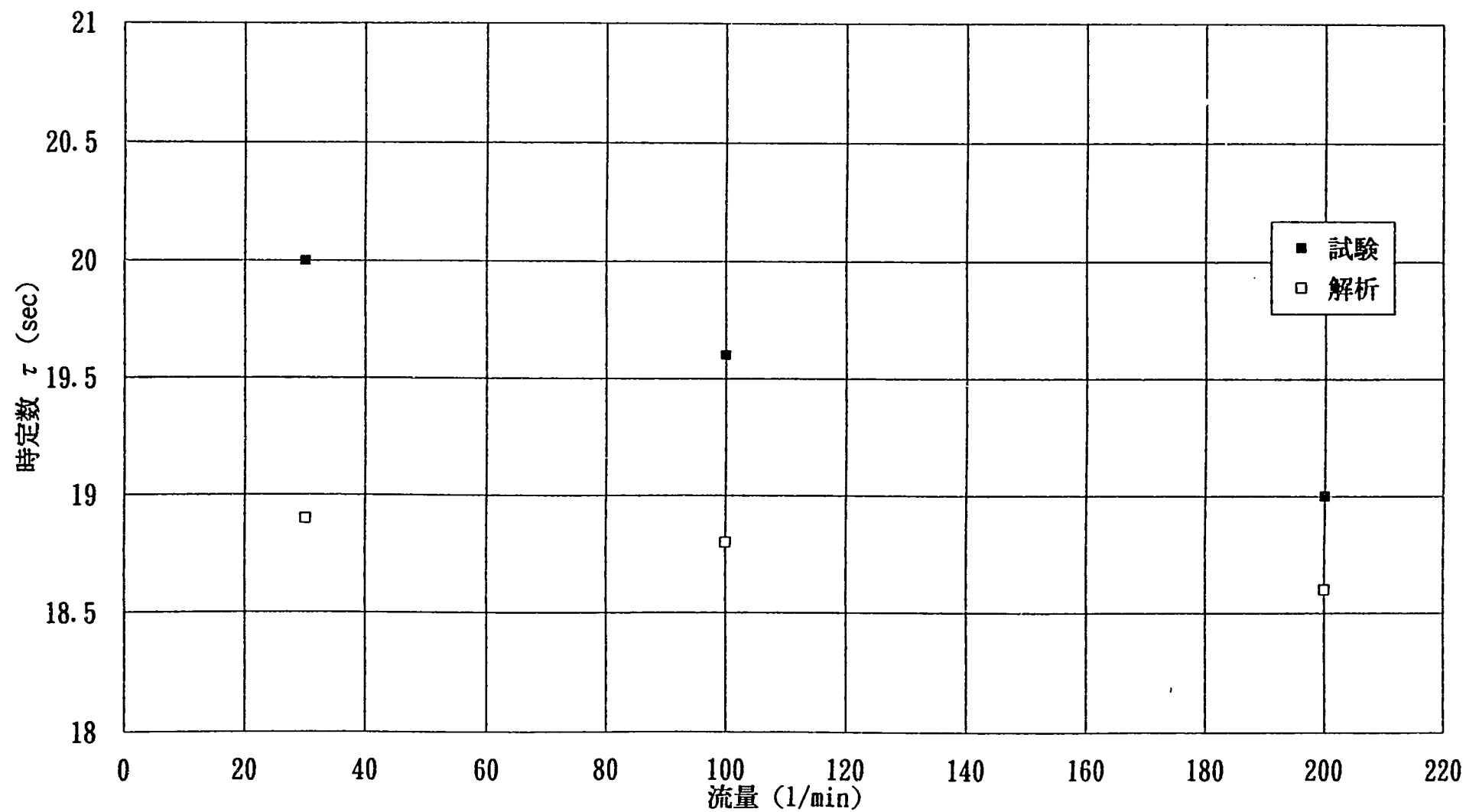


Fig. 8 Dependence of the time constant on the flow rate of the primary circuit model

流量依存性

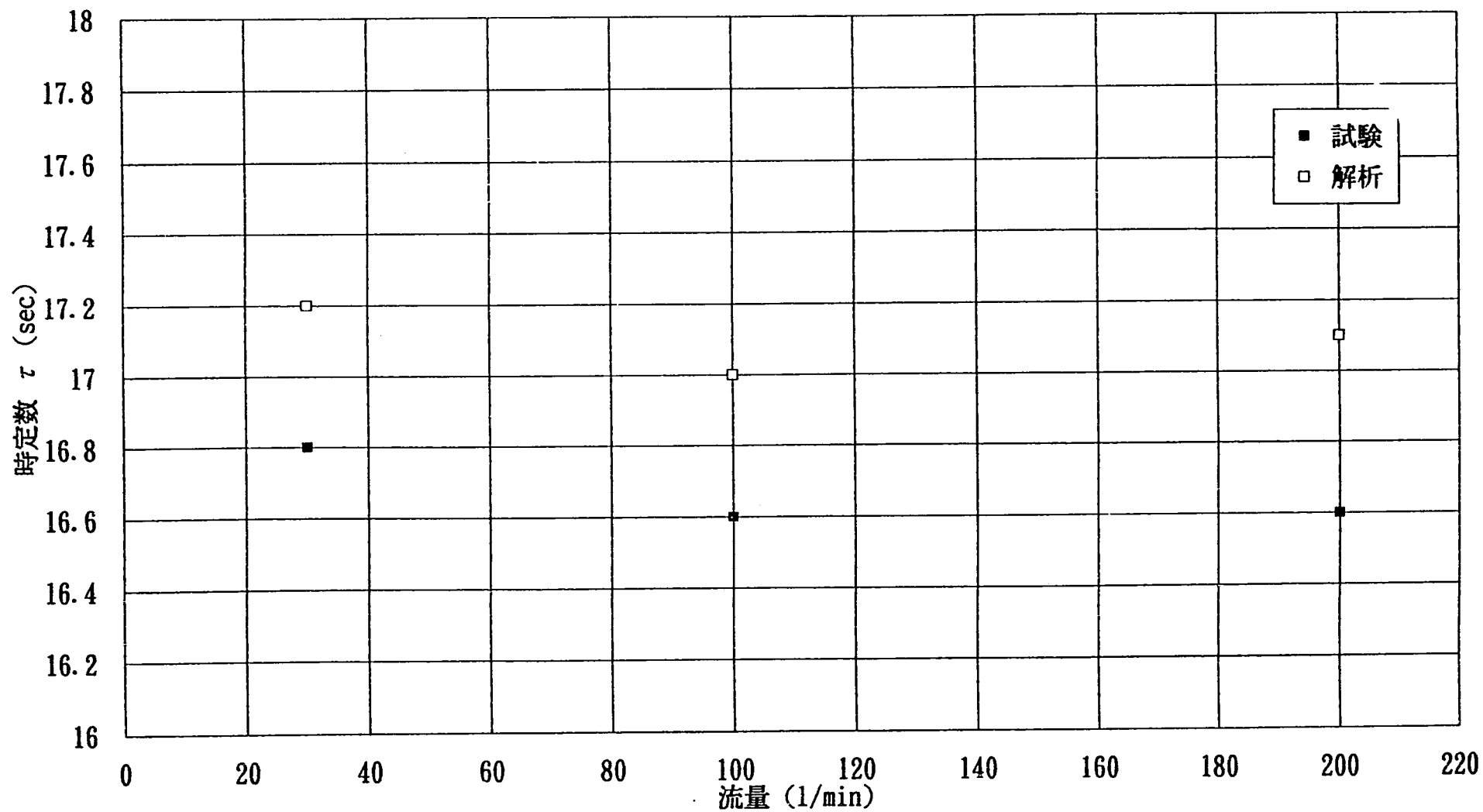


Fig. 9 Dependence of the time constant on the flow rate of the secondary circuit model

温度依存性

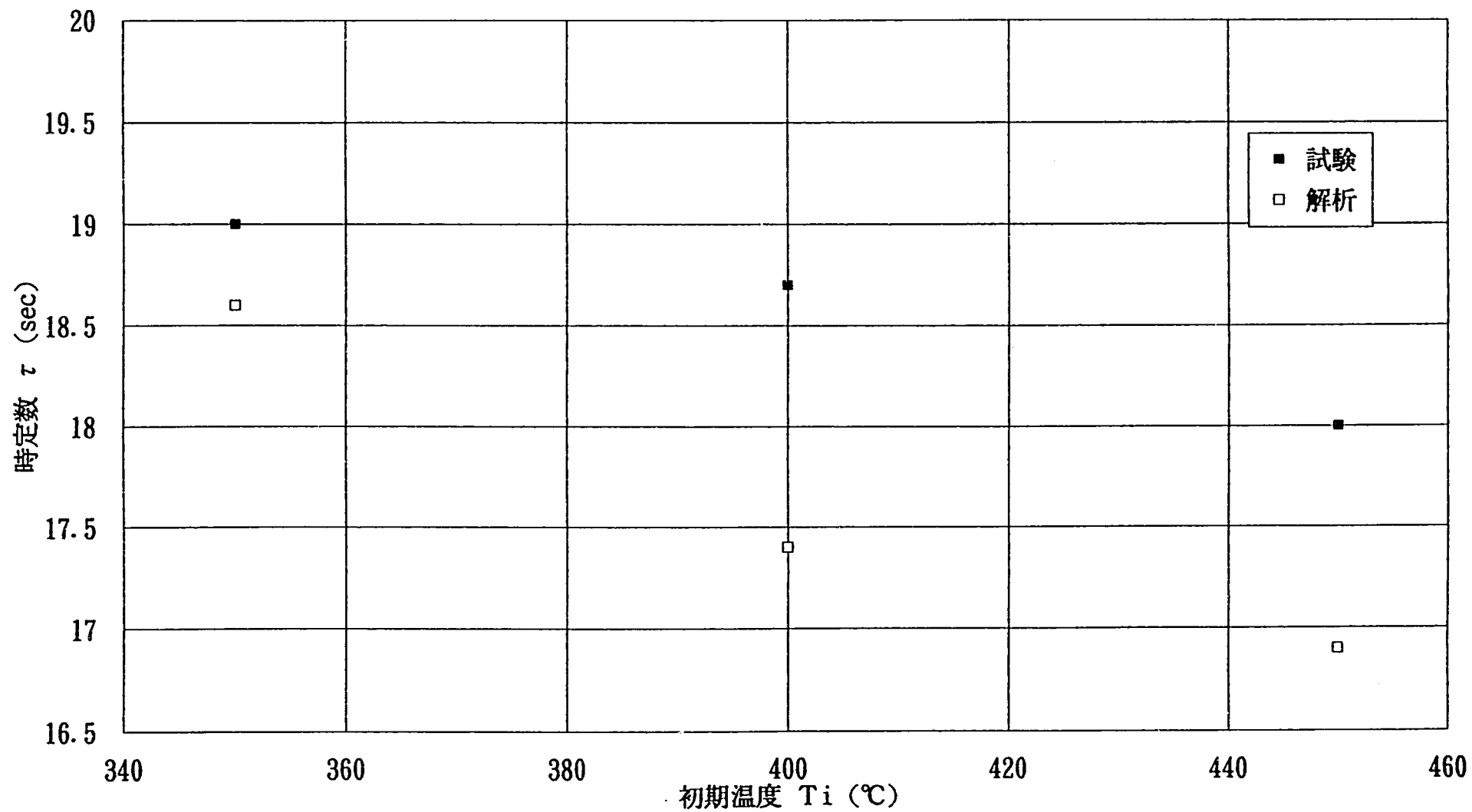


Fig.10 Dependence of the time constant on the initial temperature of the primary circuit model

温度依存性

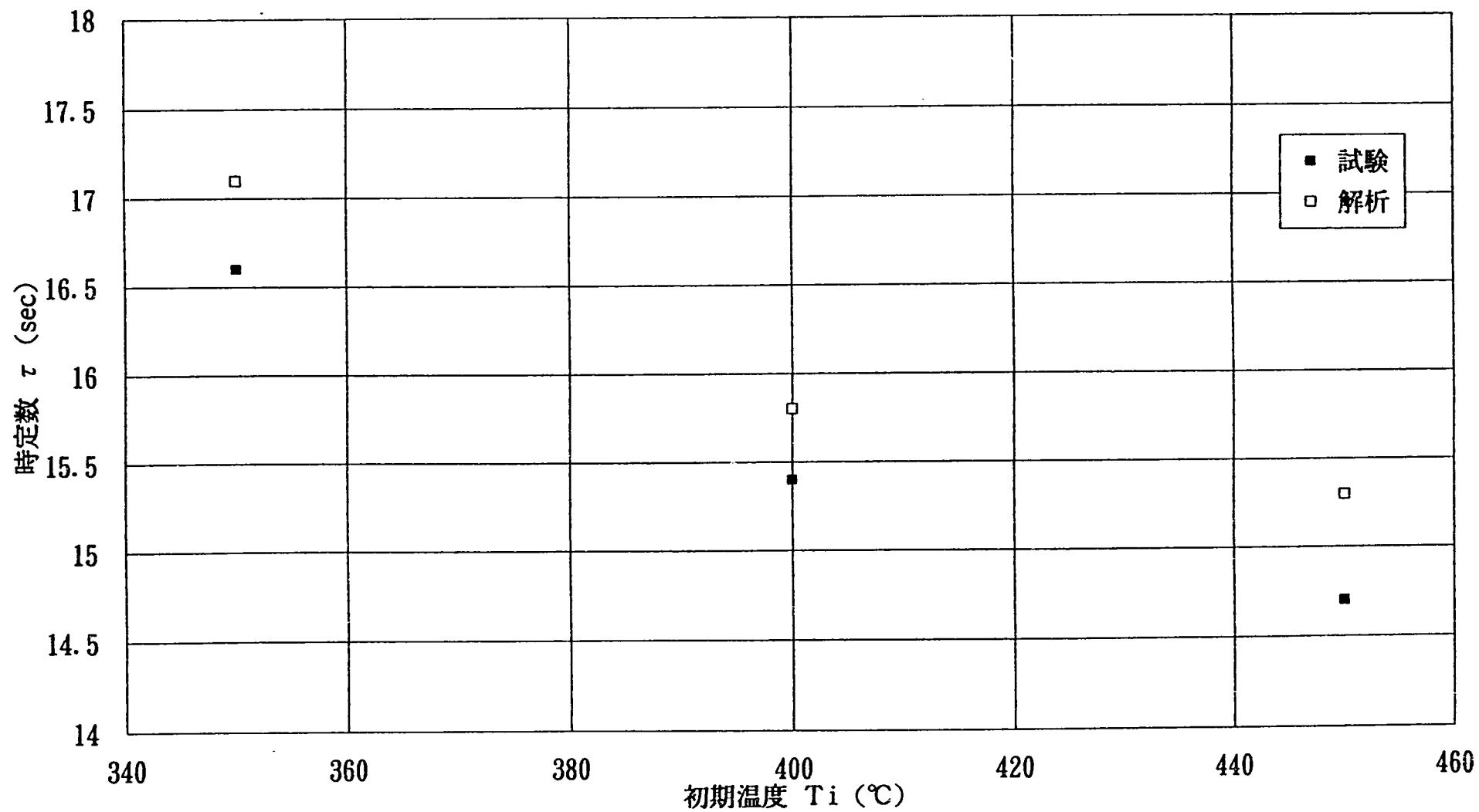


Fig. 11 Dependence of the time constant on the initial temperature of the secondary circuit model

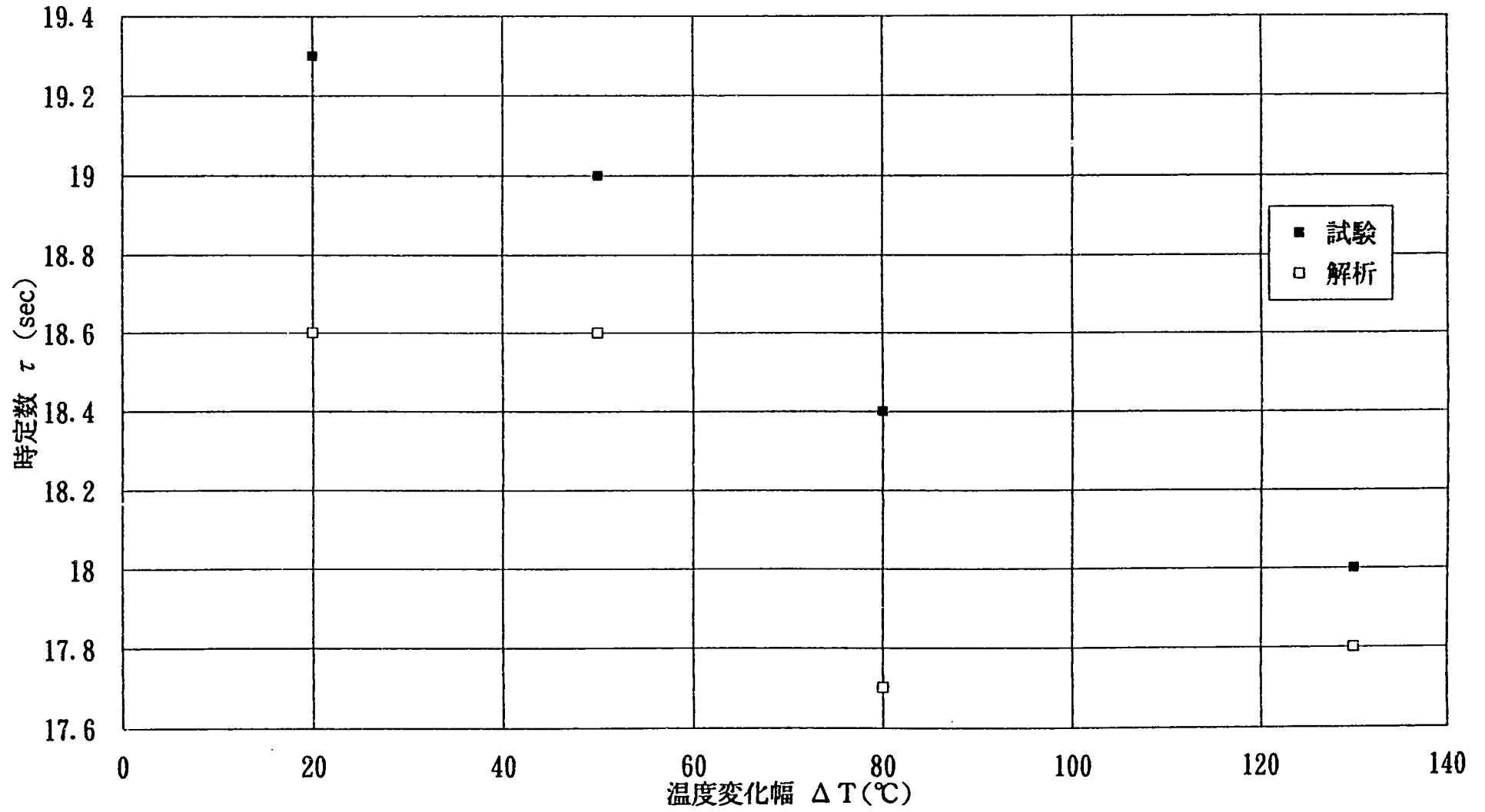
ΔT 依存性

Fig.12 Dependence of the time constant on the temperature difference of the primary circuit model

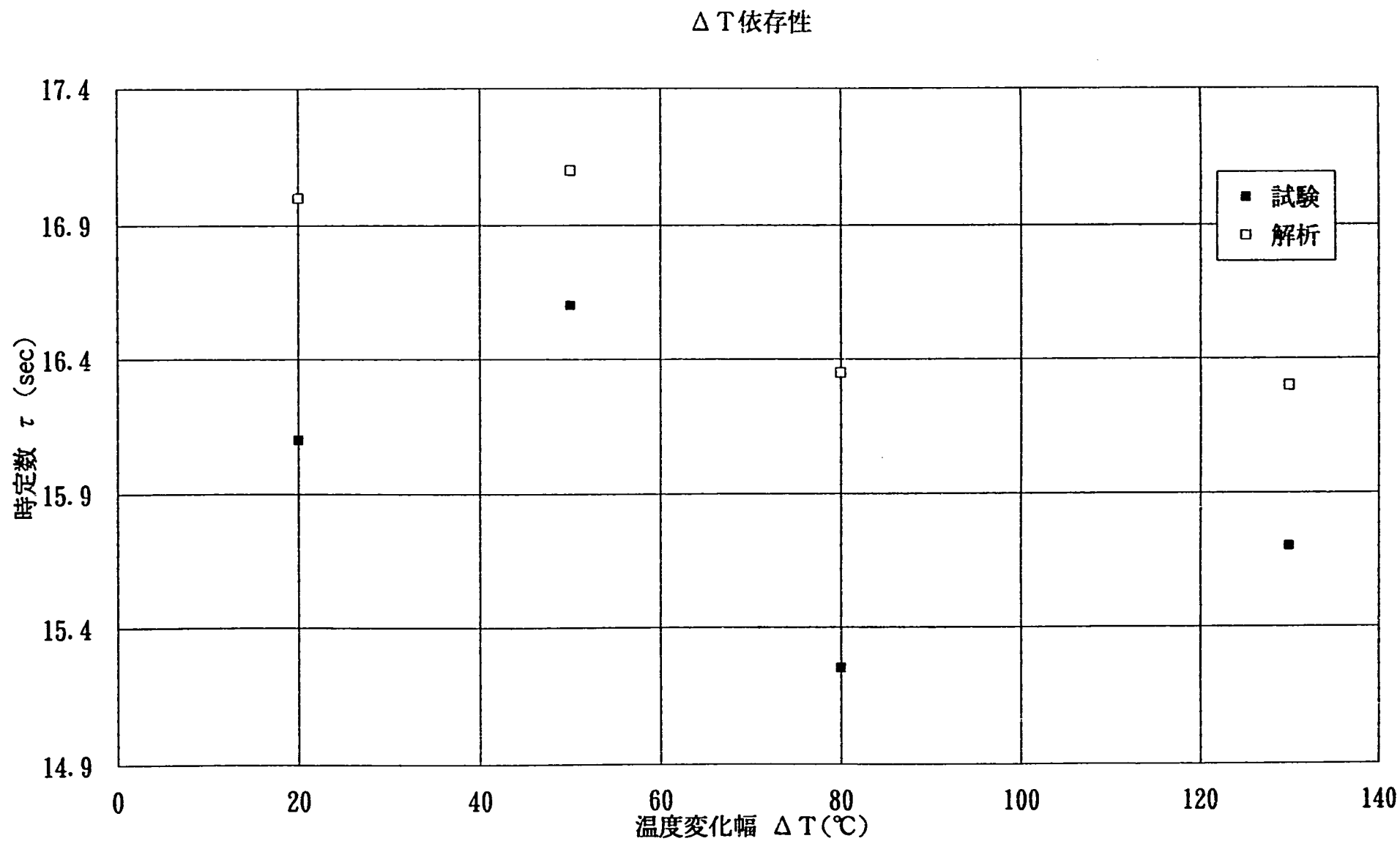


Fig. 13 Dependence of the time constant on the temperature difference of the secondary circuit model

流量依存性 100系熱電対

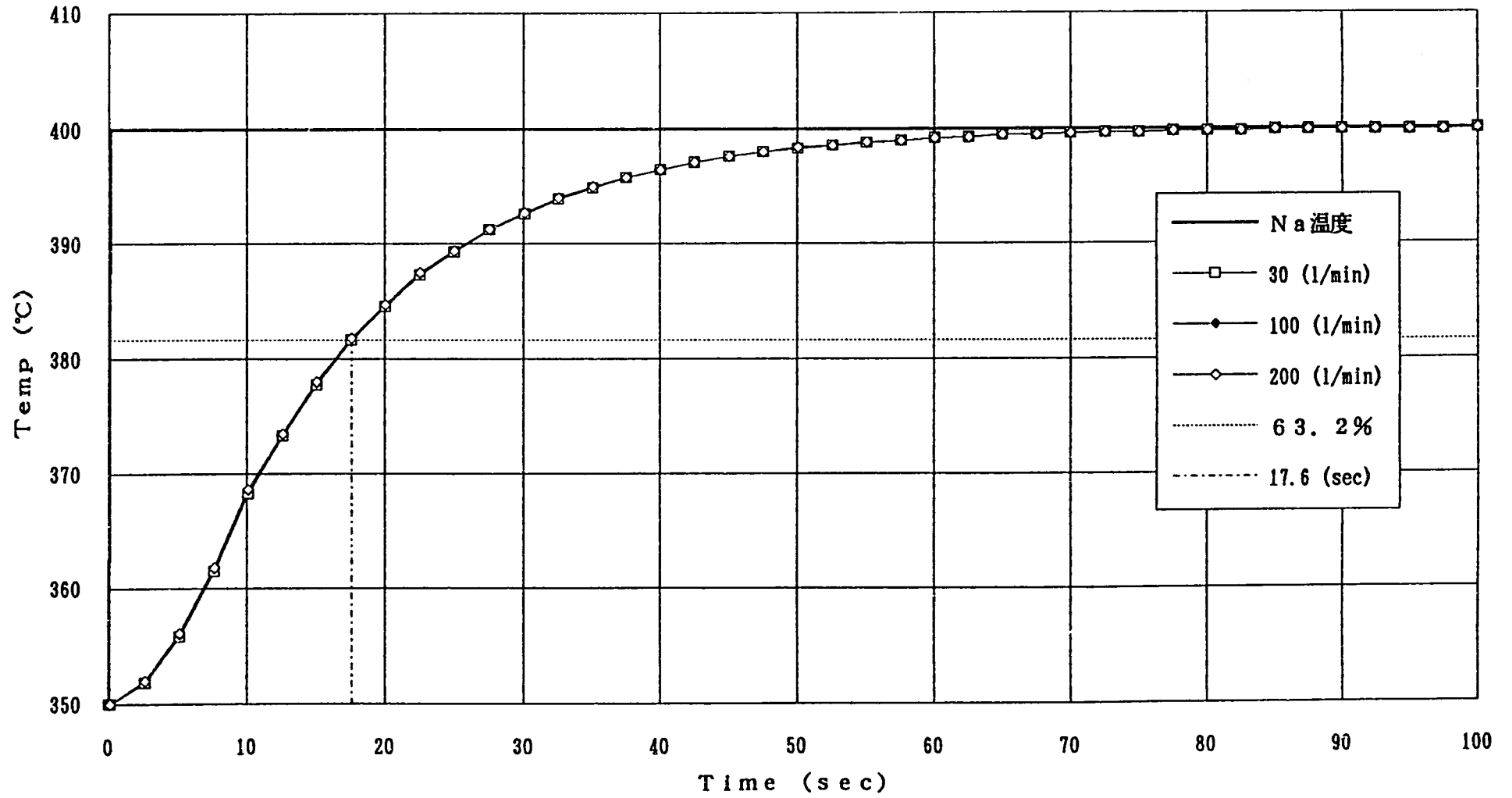


Fig. 14(1) Dependence of the time constant on the film coefficients

流量依存性 Na温度变化 400°C~450°C 一次系熱電対

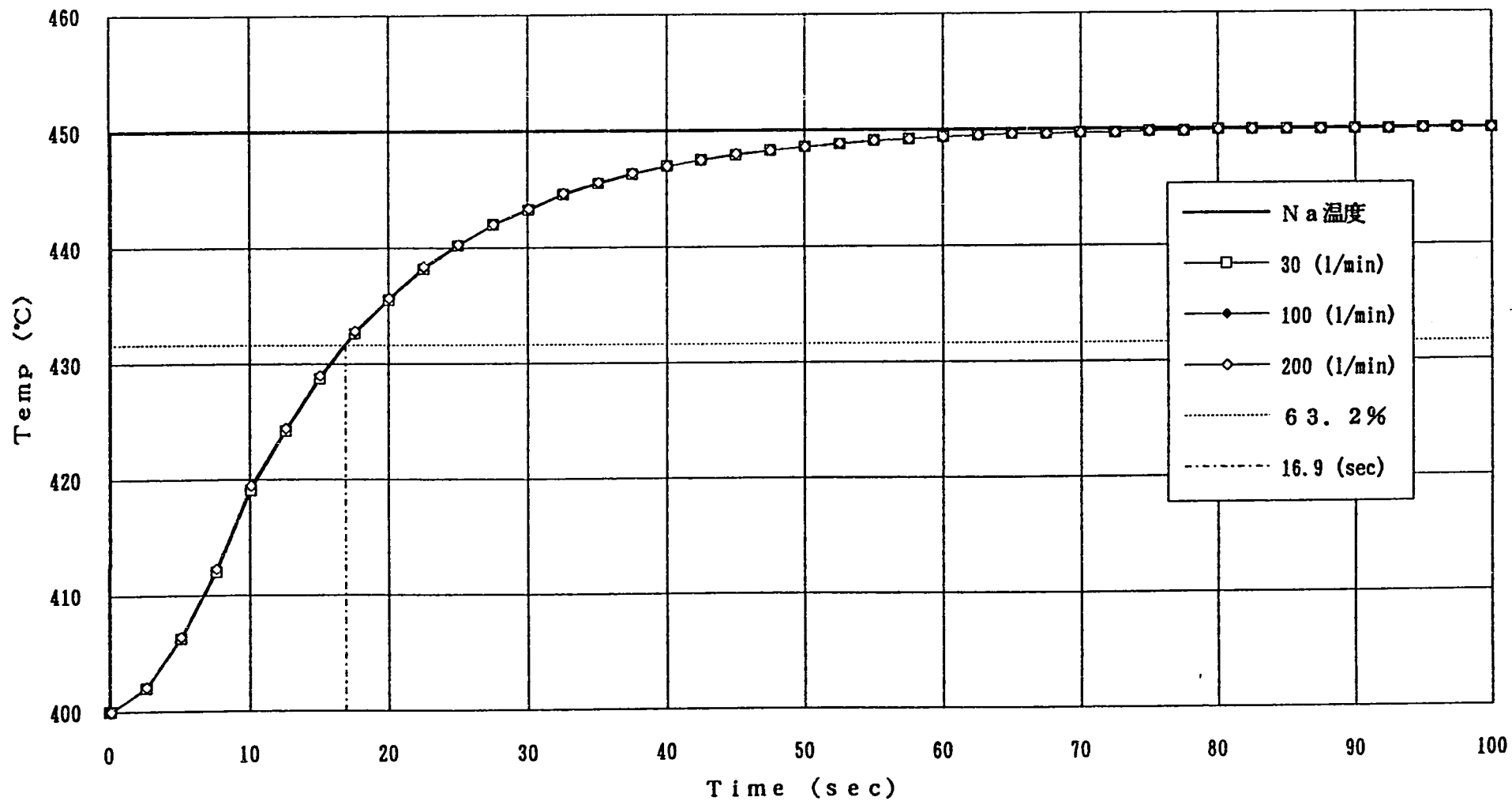
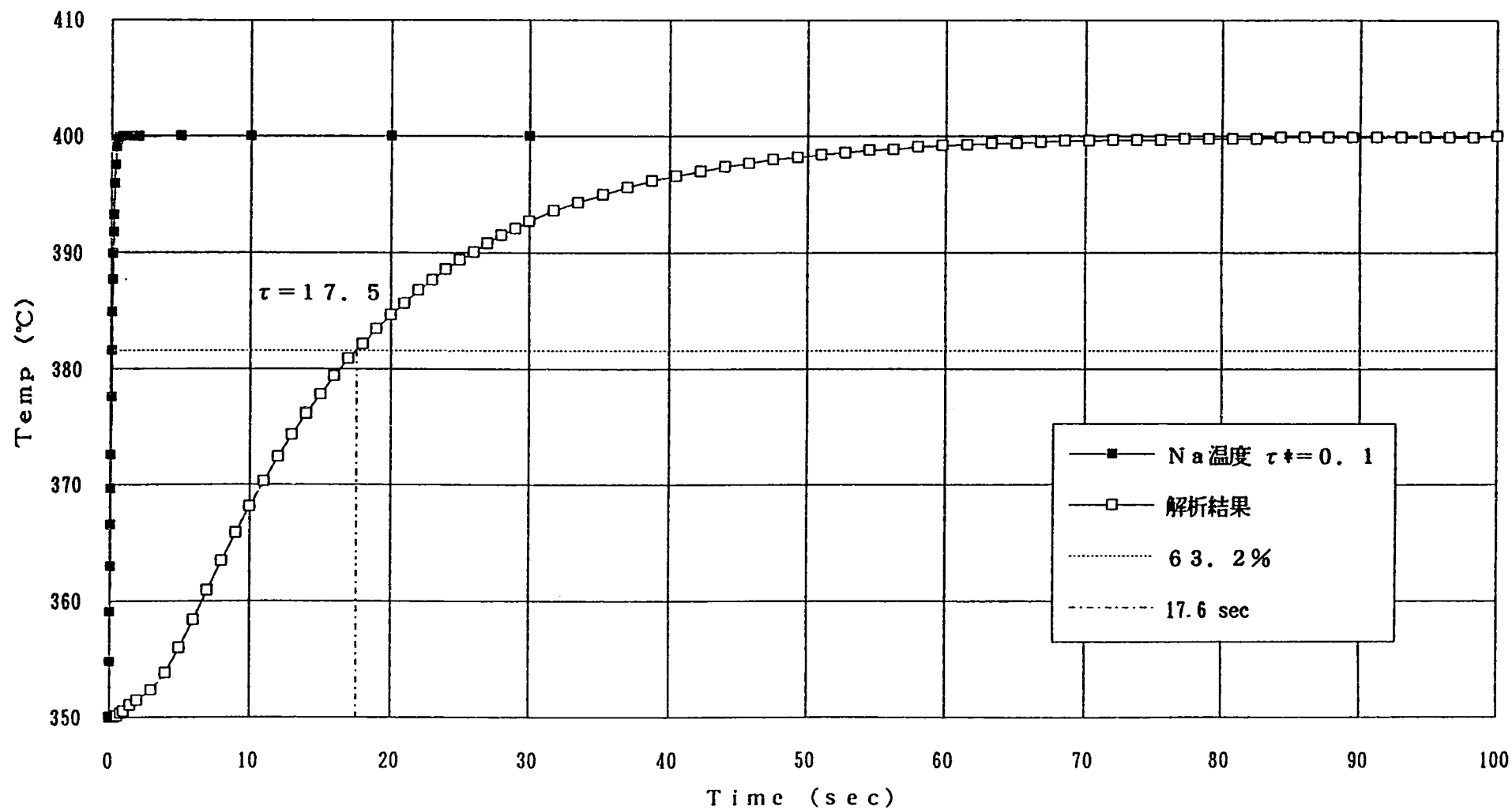


Fig. 14(2) Dependence of the time constant on the film coefficients

Na温度変化に対する τ 依存性 $\tau^*=0.1$ Na温度350°C~400°CFig.15(1) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
($T_i = 350$ °C : $\tau^* = 0.1$ sec)

Na 温度変化に対する τ 依存性 $\tau^* = 1.0$ Na 温度 $350^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$

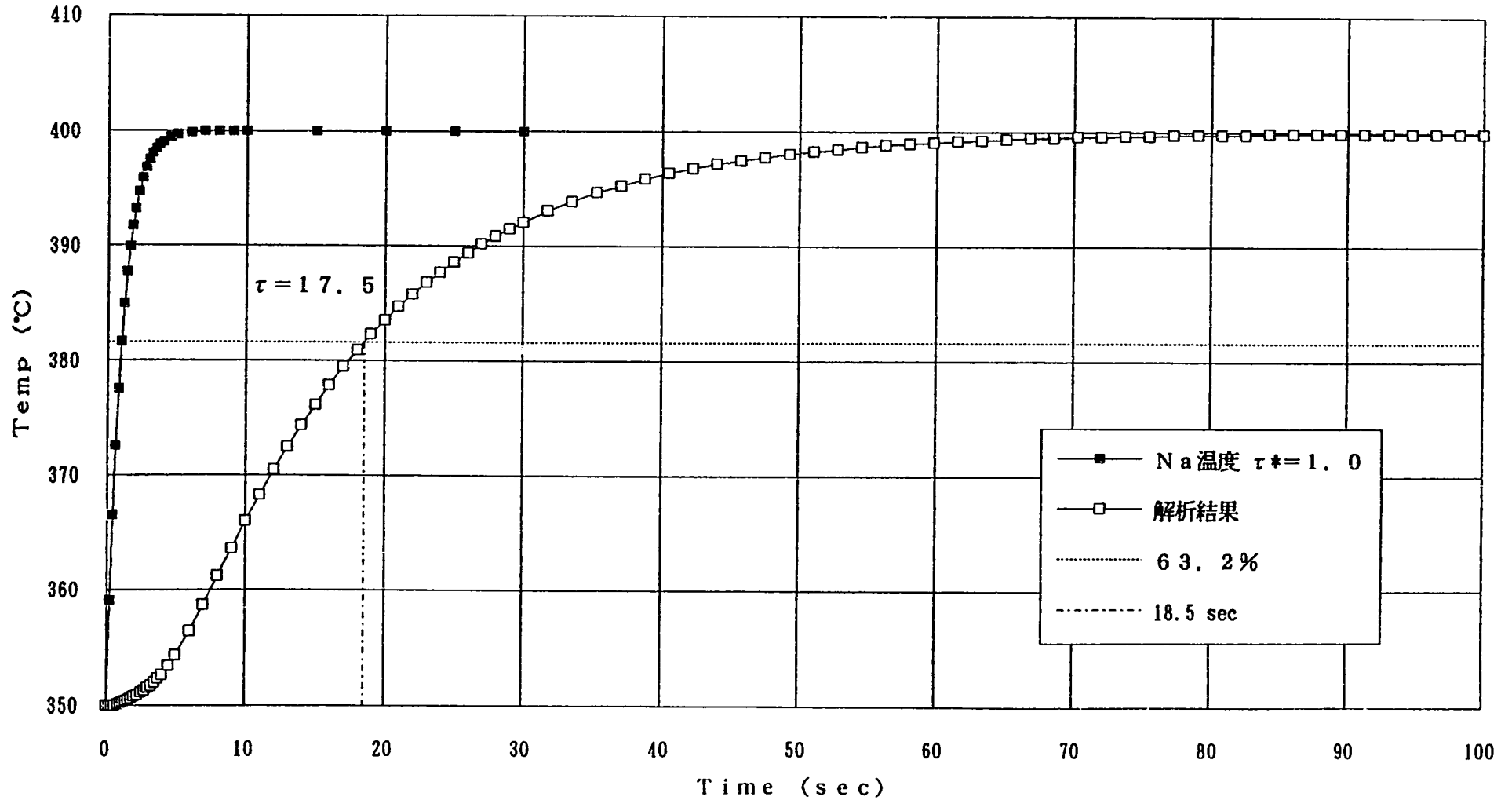
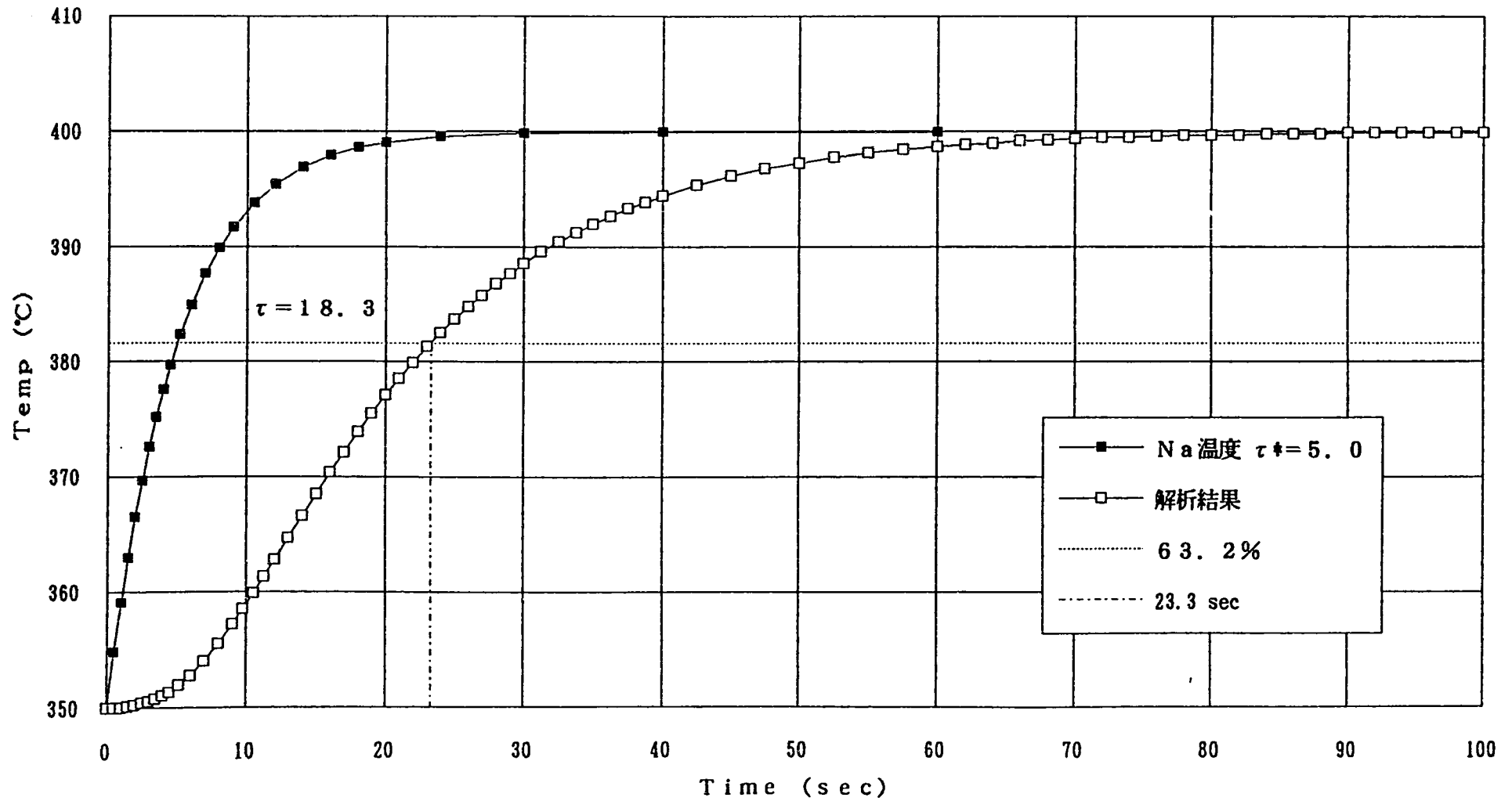


Fig. 15(2) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 350^\circ\text{C} : \tau^* = 1.0 \text{ sec}$)

Na 温度変化に対する τ 依存性 $\tau^* = 5.0$ Na 温度 $350^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ Fig.15(3) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
($T_i = 350^\circ\text{C} : \tau^* = 5.0 \text{ sec}$)

Na温度変化に対する τ 依存性 $\tau^*=10.0$ Na温度350℃~400℃

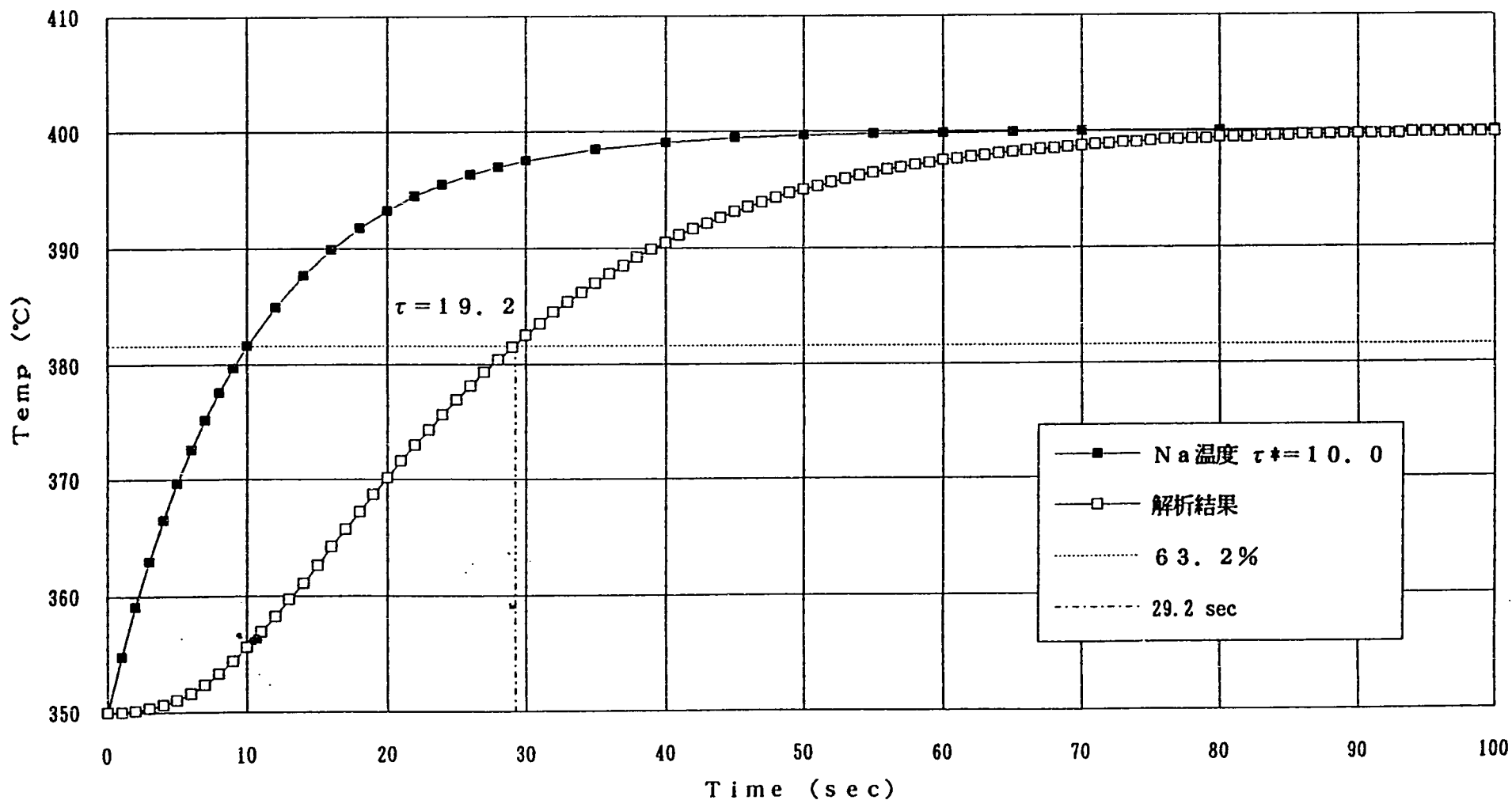


Fig.15(4) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 350$ °C : $\tau^* = 10.0$ sec)

Na 温度変化に対する τ 依存性 $\tau^* = 0.1$ Na 温度 $400^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$

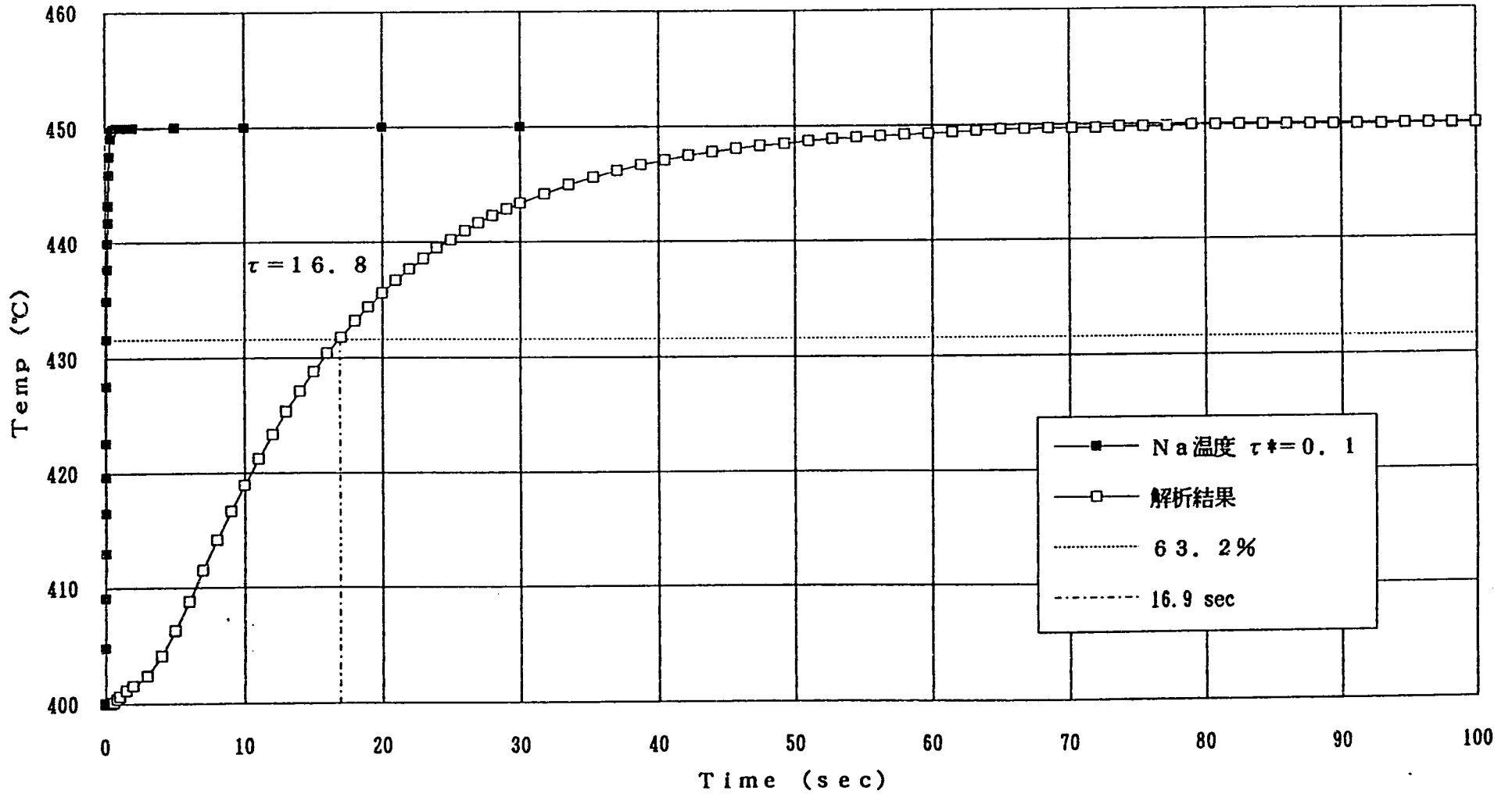


Fig.16(1) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 $(T_i = 400^\circ\text{C} : \tau^* = 0.1 \text{ sec})$

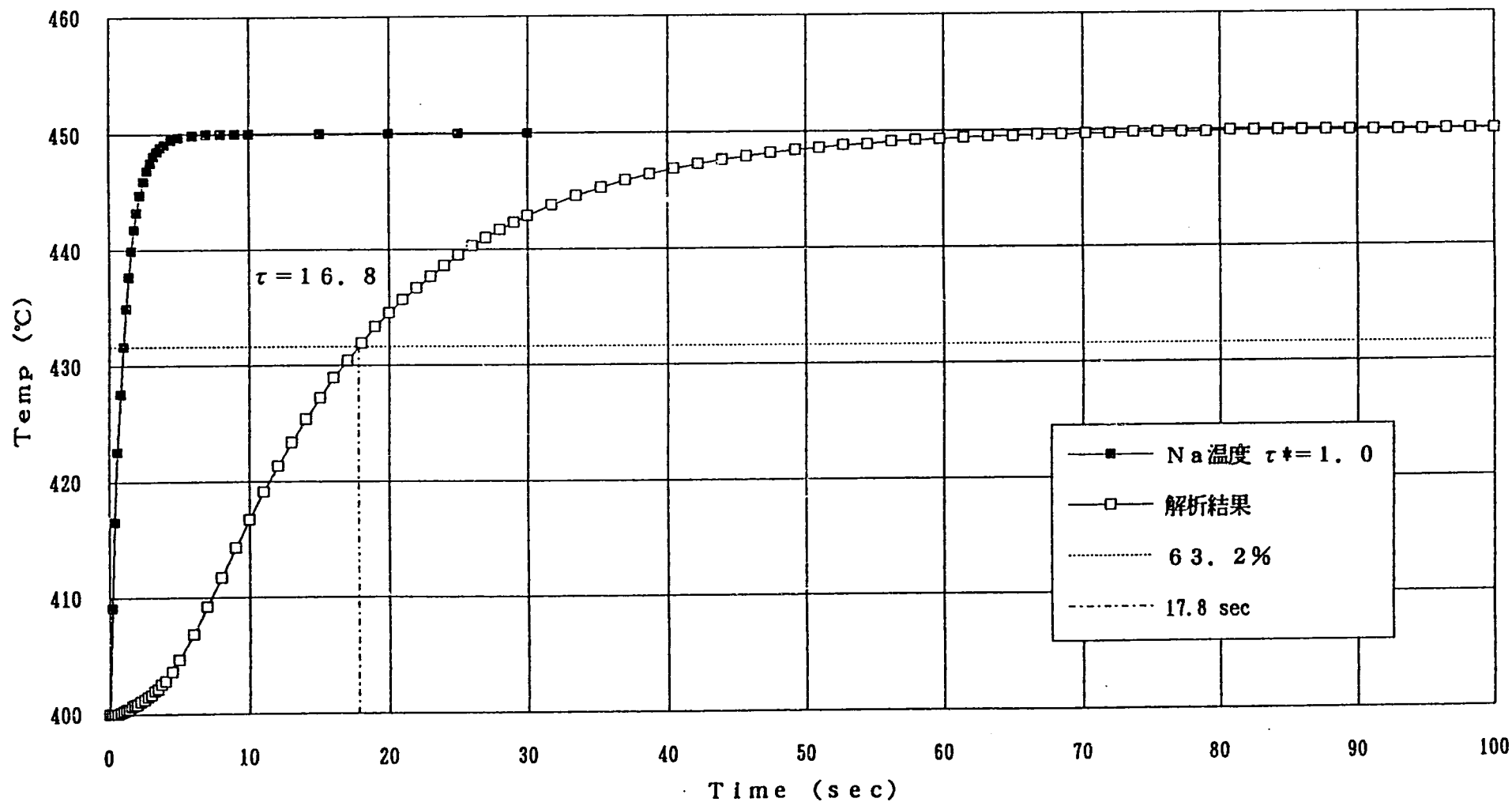
Na 温度変化に対する τ 依存性 $\tau^* = 1.0$ Na 温度 $400^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 

Fig. 16(2) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400^\circ\text{C} : \tau^* = 1.0 \text{ sec}$)

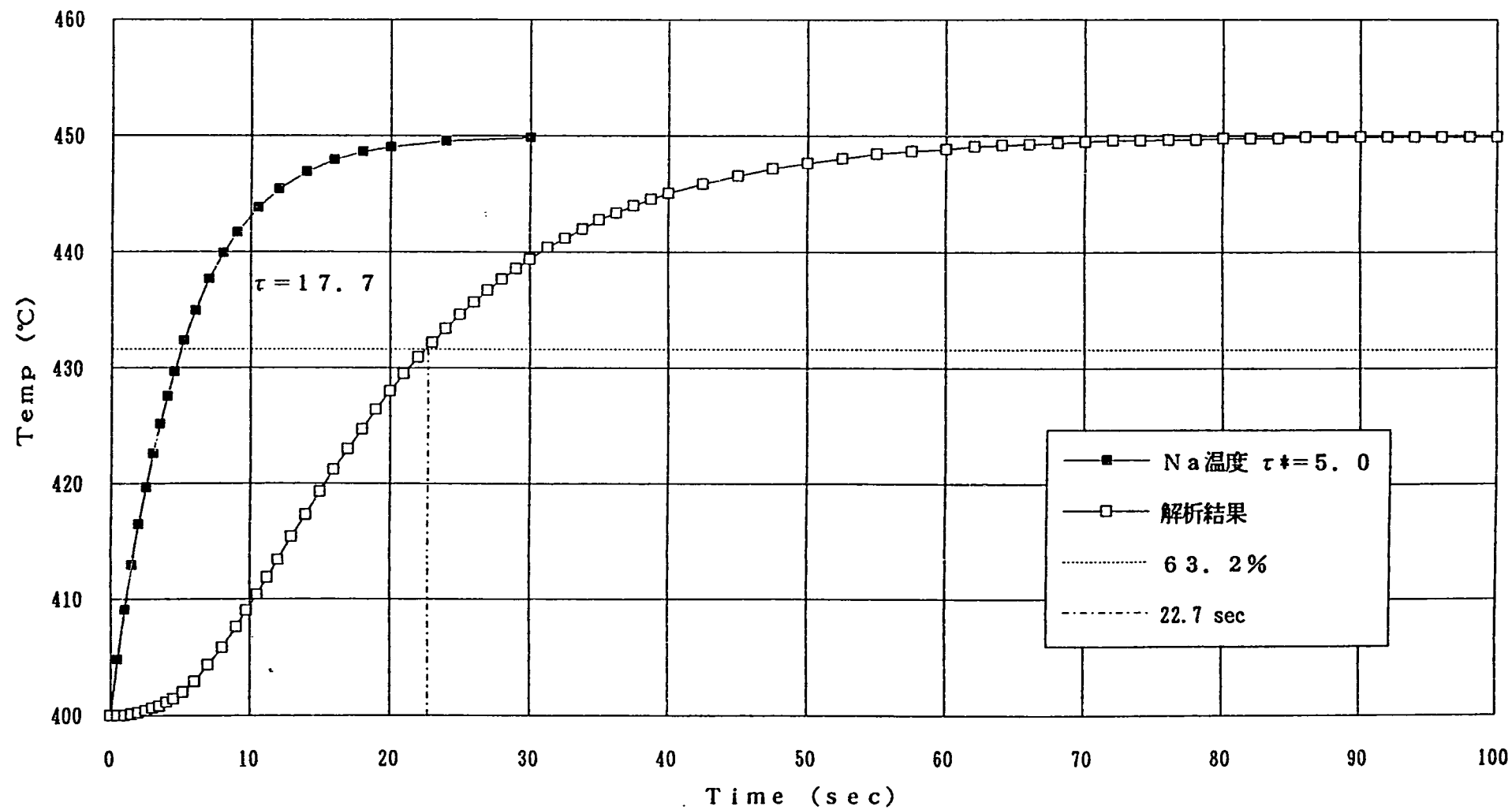
Na 温度変化に対する τ 依存性 $\tau^* = 5.0$ Na 温度 $400^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 

Fig.16(3) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400^\circ\text{C} : \tau^* = 5.0 \text{ sec}$)

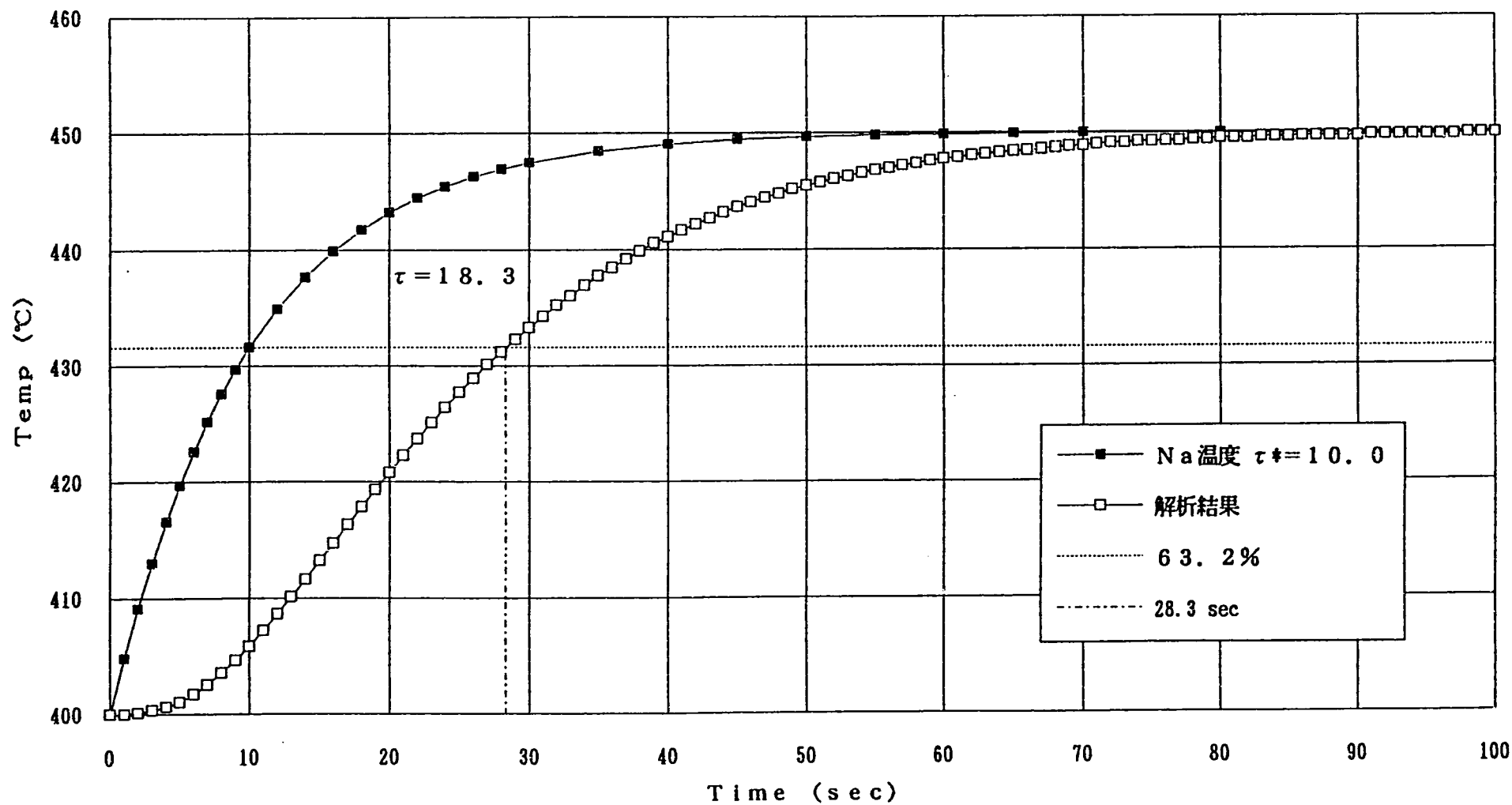
Na温度変化に対する τ 依存性 $\tau^* = 10.0$ Na温度 $400^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 

Fig.16(4) Dependence of the time constant on the temperature changing rate
 ($T_i = 400^\circ\text{C} : \tau^* = 10.0 \text{ sec}$)

τ^* 依存性 流速 1.51m/s、接触熱抵抗 $1.39E-7$ 、MgO $2.71E-7$ 一定、1次系熱電対

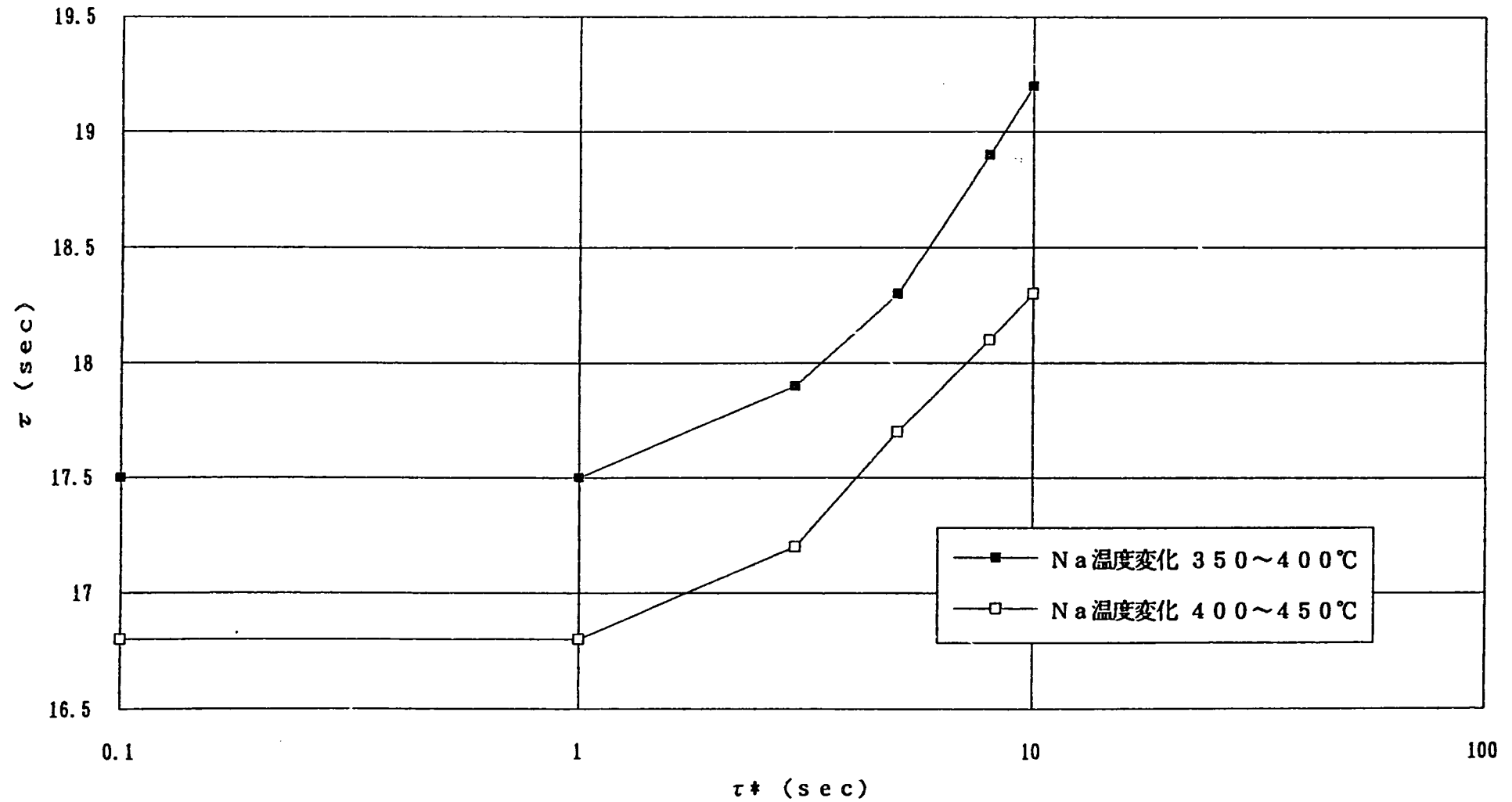
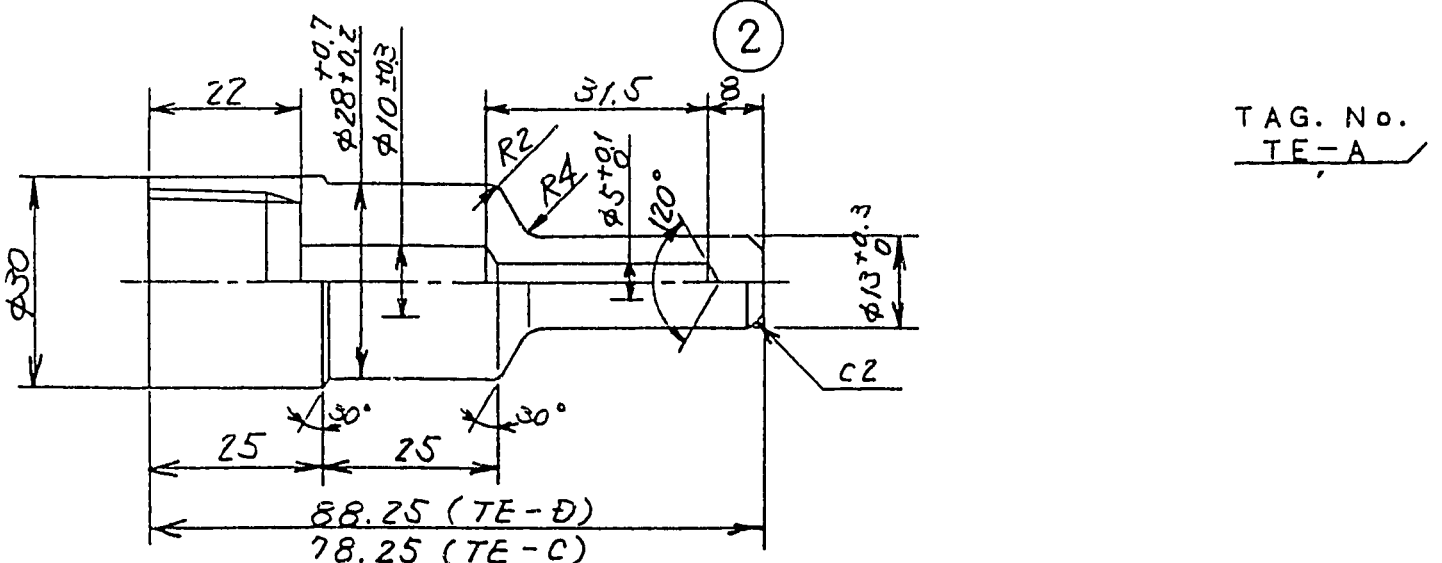
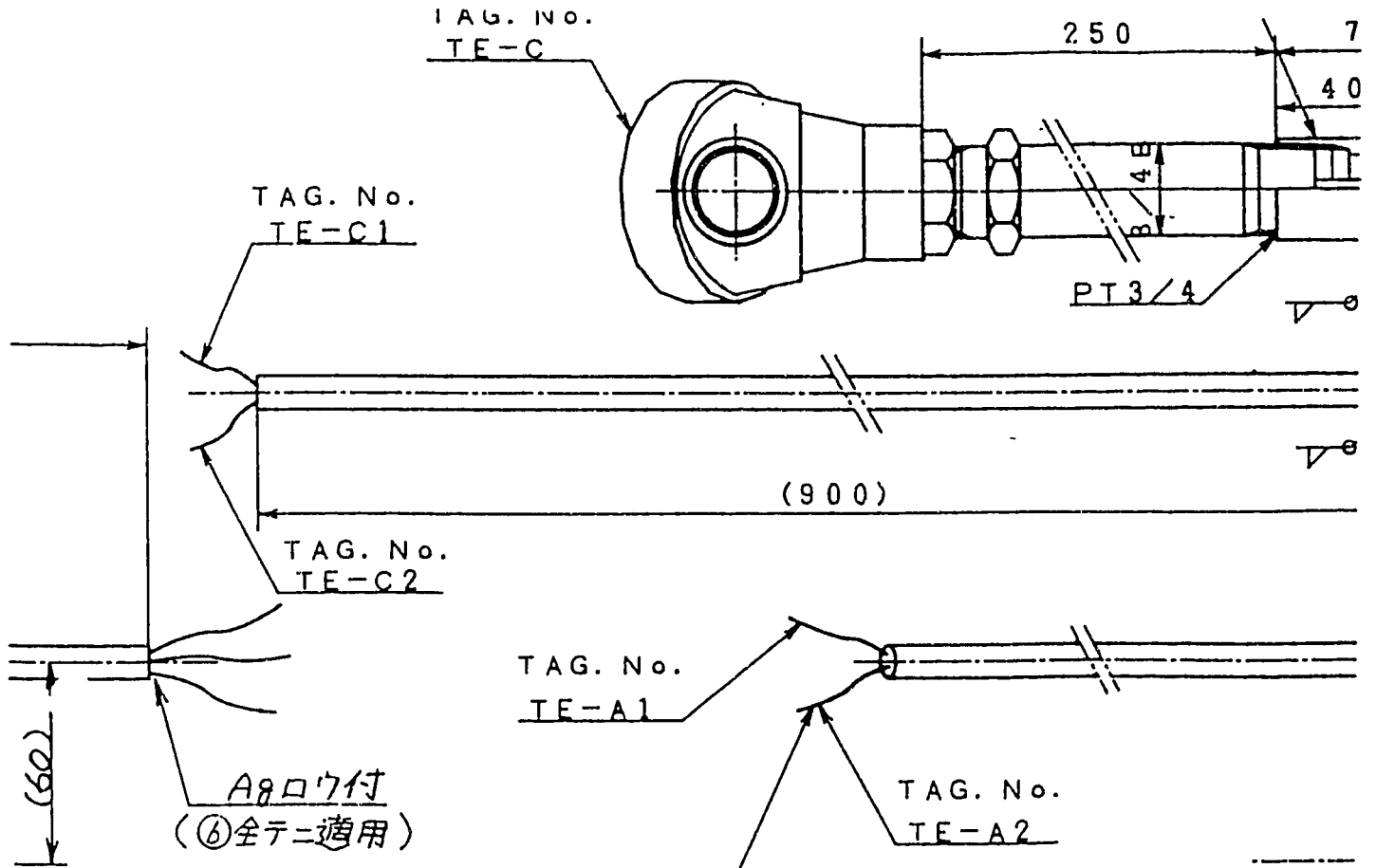


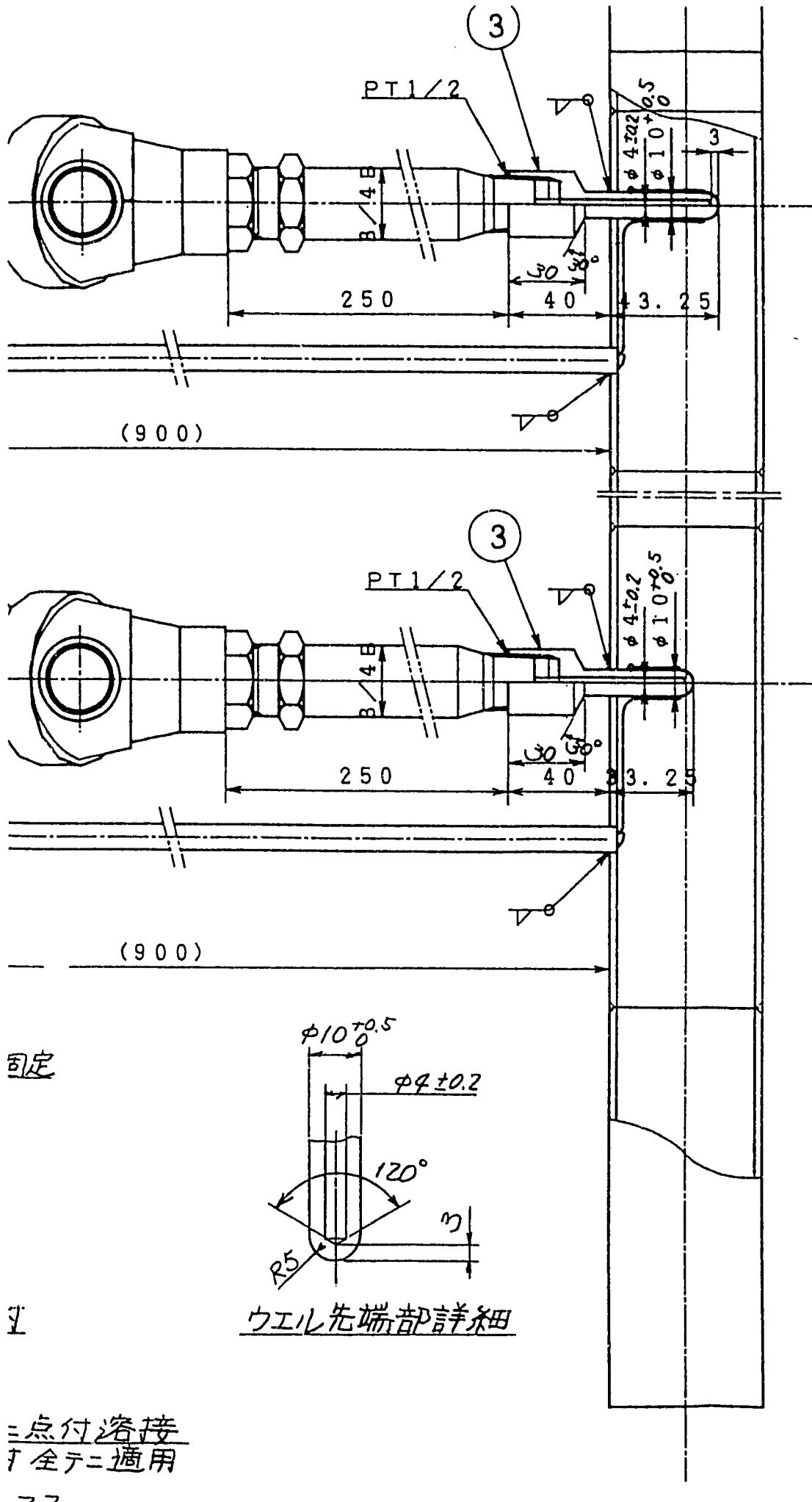
Fig.17 Dependence of the time constant on the temperature changing rate

付録－1 ウェル型熱電対形状図



ウエル詳細

ニンブックス熱電対仕様	
TAG No.	TE-A, C, D
種類	K (CA)
階級	0.4級
対数	1対 (シングル)
シース外径	φ 4.8
シース材質	SUS347
接地接占	非接地型 (J #9)



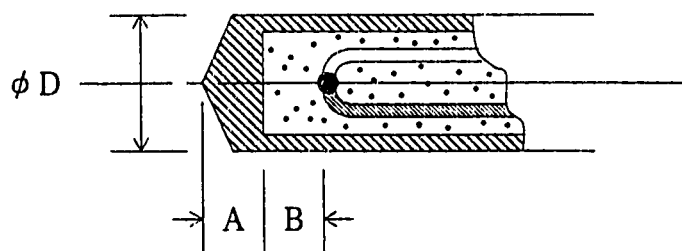
- 注記
- 1. $\phi 0.5$
 - F2) / 1
 - 2. $\phi 0.5$
 - = SUS5
 - 3. 試験・検査
 - 4. ウエル /
 - 5. ウエル /
 - 6. $\phi 0.5$ /
 - 固定シ

固定

ウエル先端部詳細

点付溶接
全テニ適用

① シース先端寸法（社内規格による）



$$A = \frac{1}{2} D \sim D \rightarrow \frac{3}{4} D$$

$$B = \frac{1}{2} D \sim D \rightarrow \frac{3}{4} D$$

② シース寸法（CA、CRC、IC、CC共通）

カタログ記号	シース外径 D (m/m)	素線径 d (m/m)		シース肉厚 t (m/m)	概算重量 (g/m)
		シングル (1対)	ダブル (2対)		
A	1.0	0.20	—	0.15	4.5
B	1.6	0.32	—	0.2	12
D	3.2	0.53	0.30	0.4	41
E	4.8	0.77	0.53	0.5	88
F	6.4	1.14	0.76	0.6	157
G	8.0	1.3	0.96	0.7	235

$\frac{3}{4} D$
A, B
2.4mm
3.6mm

付録－ 2 熱的物性値の設定

I 熱伝達率

(1) ヌセルト数Nu

直交する一様流中の円柱まわりの式³⁾を用いる。

$$\begin{aligned} Nu &= 0.373 Re^{1/2} + 0.057 Re^{2/3} \\ &= 0.418 Re^{1/2} Pr^{1/3} + 0.064 Re^{2/3} Pr^{1/3} \end{aligned} \quad (1)$$

($10^3 \leq Re \leq 10^7$)

$$Re : \text{レイノルズ数} \quad Re = \frac{u D}{\nu} \quad [-]$$

$$u : \text{流速} \quad [\text{m/s}]$$

$$D : \text{円柱の直径 (熱電対ウェル外径)} \quad [\text{m}]$$

$$\nu : \text{動粘性率} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$Pr : \text{プラントル数} \quad [-]$$

因みに、直交流中の平板の式等他の式との比較を行ったが、得られる値に大差はない。また、熱伝達率が非常に大きいため熱抵抗体として見た場合の抵抗値は小さく、多少値が異なっても全体の温度応答に与える影響は軽微なものと考えられる。従って、式(1)を全ての熱伝達面に適用する。

(2) 熱伝達率 α

$$\alpha = \frac{Nu \lambda}{D} \quad (2)$$

λ : 熱伝導率

熱伝達率の温度依存性は非常に小さく、300 °C ~ 500 °C の範囲での差は数%以下である。従って、熱伝達率については流速依存性のみを考慮する。

式(3)より得られる熱伝達係数を以下に示す。

流速 u (m/s)	熱伝達率 α Kcal/m ² h °C (Kcal/mm ² s °C)	
	D = 10 mm	D = 13 mm
0.23	6.24×10^4 (1.73×10^{-5})	5.57×10^4 (1.55×10^{-5})
0.38	8.30×10^4 (2.31×10^{-5})	7.41×10^4 (2.06×10^{-5})
0.60	1.078×10^5 (2.99×10^{-5})	9.64×10^4 (2.68×10^{-5})
0.78	1.253×10^5 (3.48×10^{-5})	1.121×10^5 (3.11×10^{-5})
1.13	1.552×10^5 (4.31×10^{-5})	1.389×10^5 (3.86×10^{-5})
1.51	1.835×10^5 (5.10×10^{-5})	1.644×10^5 (4.57×10^{-5})

II 空気層の等価な熱伝導率

シースとウェル間（空気層）の輻射による熱移動を、熱伝導率に換算して空気層の等価な熱伝導率として考慮する。

$$q_{rad} = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) = \epsilon \sigma (T_1^3 + T_1^2 T_2 + T_1 T_2^2 + T_2^3)(T_1 - T_2)$$

より

$$\alpha_{eq} = \epsilon \sigma (T_1^3 + T_1^2 T_2 + T_1 T_2^2 + T_2^3) = 4 \epsilon \sigma T_{Air}^3$$

$$\lambda_{eq} = \alpha_{eq} \times \delta_{gap} + \lambda_{Air} \quad (3)$$

とする。ここに、 ϵ 及び σ は、輻射率と Stefan-Boltzmann 定数である。輻射率は、0.5 とした。因みに、輻射熱伝達を等価な熱伝導に置き換えたことによる温度応答の遅れは

$$\tau = \frac{c \gamma}{\lambda_{eq}} \delta_{gap} < 5 \times 10^{-3} \text{ sec.}$$

であり、熱電対の時定数に比べて無視できる大きさである。

温度 T (°C)	比重 γ (kg/mm ³)	比熱 c (Kcal/kg°C)	等価熱伝導率 λ _{eq} (Kcal/mm s °C)	
			δ _{gap} = 0.1 mm	δ _{gap} = 0.4 mm
300	5.93 × 10 ⁻¹⁰	0.252	1.12 × 10 ⁻⁸	1.30 × 10 ⁻⁸
350	5.48 × 10 ⁻¹⁰	0.253	1.21 × 10 ⁻⁸	1.44 × 10 ⁻⁸
400	5.08 × 10 ⁻¹⁰	0.255	1.30 × 10 ⁻⁸	1.58 × 10 ⁻⁸
450	4.73 × 10 ⁻¹⁰	0.258	1.38 × 10 ⁻⁸	1.74 × 10 ⁻⁸
500	4.42 × 10 ⁻¹⁰	0.261	1.47 × 10 ⁻⁸	1.90 × 10 ⁻⁸

Ⅲ 接触熱抵抗

接触熱抵抗は、次式³⁾より概算する。

$$\frac{1}{R} = \frac{1.7 \times 10^5}{r_1 (1/\lambda_1 + 1/\lambda_2)} \frac{0.6P}{H} + \frac{10^6 \lambda_r}{\delta_1 + \delta_2} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \text{K}) \quad (4)$$

ここに

- r_1 : 真実接触点を模擬したくびれの半径 $[\mu\text{m}]^*$
- λ_1 : 接触体1 (シース) の熱伝導率 $[\text{W}/(\text{mK})]$
- λ_2 : 接触体2 (ウェル) の熱伝導率 $[\text{W}/(\text{mK})]$
- P : 接触面の押し付け圧力 $[\text{MPa}]$
- H : 柔い方の固体の硬さ (H_B または H_v) $[\text{kg}/\text{mm}^2]$
- λ_r : 接触面間の介在物の熱伝導率 $[\text{W}/(\text{mK})]$
- δ_1 : 接触体1の表面粗さ $[\mu\text{m}]$
- δ_2 : 接触体2の表面粗さ $[\mu\text{m}]$

である。

接触体1及び2をステンレス鋼、接触面間の介在物を空気とし、 r_1 として普通の表面粗さの値 $30\mu\text{m}$ を用いる²⁾。また、 $\delta_1 = \delta_2 = r_1$ とする。押し付け圧力 P を $1\text{kg}/\text{cm}^2$ のオーダーと仮定し、 H はステンレス鋼の規格値より $H_v \approx 20\text{kg}/\text{mm}^2$ とすると、

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{1.7 \times 10^5}{30 \times 2 / 16.5} \frac{0.6 \times 0.1}{20} + \frac{10^6 \times 0.033}{2 \times 30} \\ &= 14.03 + 550.0 = 564.03 \quad \text{W}/(\text{m}^2 \text{K}) \\ &= 564.03 \times 0.8598 = 485.0 \quad \text{kcal}/(\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}) \\ 500 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}) &\Rightarrow 1.39 \times 10^{-7} \text{ kcal}/(\text{mm}^2 \text{s}^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

となる。

* (伝熱工学資料では単位はmになっているが、計算結果が非常に大きな不自然な値になること及び δ_1 と δ_2 等との単位の整合性から μm の間違いと判断した。)

付録－3 ウェル型熱電対温度応答解析 の詳細

1. はじめに

本解析は「もんじゅ」1次・2次系主冷却系に使用されている熱電対と同等のウェル型熱電対試験体を用いて小型熱衝撃試験装置を利用したナトリウム中での熱電対応答性試験を実施したものをFINAS上で解析し、その結果を示す。

2. 解析モデル

(1) 1次系用ウェル型熱電対モデル

Fig.1(1)~Fig.1(6)に要素分割図、物性値対応図、シース側モデルの接点・要素番号、ウェル側モデルの接点・要素番号、境界条件、FINAS入力データを示す。

以下に各材料の物性値を示す。

1) MgO

温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	比重 γ (Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$)	比熱 c (Kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 λ (Kcal/mms $^{\circ}\text{C}$)
300	3.470×10^{-6}	0.2813	2.710×10^{-7}
350	3.463×10^{-6}	0.2870	2.710×10^{-7}
400	3.456×10^{-6}	0.2911	2.710×10^{-7}
450	3.450×10^{-6}	0.2935	2.710×10^{-7}
500	3.443×10^{-6}	0.2943	2.710×10^{-7}

2) SUS316

FINASの材料データライブラリSUS316を使用する。

3) 空気層 (ギャップ幅 0.3mm)

温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	比重 γ (Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$)	比熱 c (Kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 λ (Kcal/mms $^{\circ}\text{C}$)
300	4.448×10^{-10}	0.1890	1.580×10^{-8}
350	4.110×10^{-10}	0.1898	1.722×10^{-8}
400	3.810×10^{-10}	0.1913	1.867×10^{-8}
450	3.548×10^{-10}	0.1935	2.014×10^{-8}
500	3.315×10^{-10}	0.1958	2.165×10^{-8}

4) SUS304

FINASの材料データライブラリSUS304を使用する。

(2) 2次系用ウェル型熱電対モデル

Fig.2(1)~Fig.2(6)に要素分割図、物性値対応図、シース側モデルの接点・要素番号、ウェル側モデルの接点・要素番号、境界条件、FINAS 入力データを示す。

以下に各材料の物性値を示す。

1) MgO

温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	比重 γ (Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$)	比熱 c (Kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 λ (Kcal/mms $^{\circ}\text{C}$)
300	3.470×10^{-6}	0.2813	2.710×10^{-7}
350	3.463×10^{-6}	0.2870	2.710×10^{-7}
400	3.456×10^{-6}	0.2911	2.710×10^{-7}
450	3.450×10^{-6}	0.2935	2.710×10^{-7}
500	3.443×10^{-6}	0.2943	2.710×10^{-7}

2) SUS347

FINASの材料データライブラリSUS304を使用する。

3) 空気層 (ギャップ幅 0.138mm)

温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	比重 γ (Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$)	比熱 c (Kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 λ (Kcal/mms $^{\circ}\text{C}$)
300	8.183×10^{-10}	0.3478	8.459×10^{-9}
350	7.562×10^{-10}	0.3491	9.195×10^{-9}
400	7.010×10^{-10}	0.3519	9.940×10^{-9}
450	6.527×10^{-10}	0.3560	1.069×10^{-8}
500	6.100×10^{-10}	0.3602	1.145×10^{-8}

4) SUS304

FINASの材料データライブラリSUS304を使用する。

また、熱電対シース側とウェル側の接触熱抵抗は1次系、2次系ともに 1.39×10^{-7} Kcal/mms $^{\circ}\text{C}$ とした。

3. 解析結果

(1) 1次系用ウェル型熱電対モデル

Fig.3(1)~Fig.3(10) に解析結果グラフを示す。

1) 流速依存性 (HOT SHOCK)

試験 I D	解 析 条 件				τ (63.2%到達時間)	
	高温Na (°C)	低温Na (°C)	温度幅 (°C)	流速 (l/min)	試験結果 (sec)	解析結果 (sec)
TEST02-1	400	350	50	200	19.0	18.6
TEST04-3	400	350	50	100	19.6	18.8
TEST07-5	400	350	50	30	20.0	18.9

2) 温度依存性 (HOT SHOCK、*COLD SHOCK)

試験 I D	解 析 条 件				τ (63.2%到達時間)	
	高温Na (°C)	低温Na (°C)	温度幅 (°C)	流速 (l/min)	試験結果 (sec)	解析結果 (sec)
TEST02-1	400	350	50	200	19.0	18.6
TEST08-3	450	400	50	200	18.7	17.4
TEST09-3	500	450	50	200	18.0	16.9
* TEST02-2	400	350	50	200	17.7	18.0
* TEST08-4	450	400	50	200	17.6	17.6

3) ΔT 依存性 (HOT SHOCK)

試験 I D	解 析 条 件				τ (63.2%到達時間)	
	高温Na (°C)	低温Na (°C)	温度幅 (°C)	流速 (l/min)	試験結果 (sec)	解析結果 (sec)
TEST01-3	370	350	20	200	19.3	18.6
TEST02-1	400	350	50	200	19.0	18.6
TEST15-3	430	350	80	200	18.4	17.7
TEST17-3	480	350	130	200	18.0	17.8

(2) 2次系用ウェル型熱電対モデル

Fig.4(1)~Fig.4(10) に解析結果グラフを示す。

1) 流速依存性 (HOT SHOCK)

試験ID	解析条件				τ (63.2%到達時間)	
	高温Na (°C)	低温Na (°C)	温度幅 (°C)	流速 (l/min)	試験結果 (sec)	解析結果 (sec)
TEST02-1	400	350	50	200	16.6	17.1
TEST04-3	400	350	50	100	16.6	17.0
TEST07-5	400	350	50	30	16.8	17.2

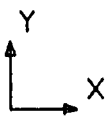
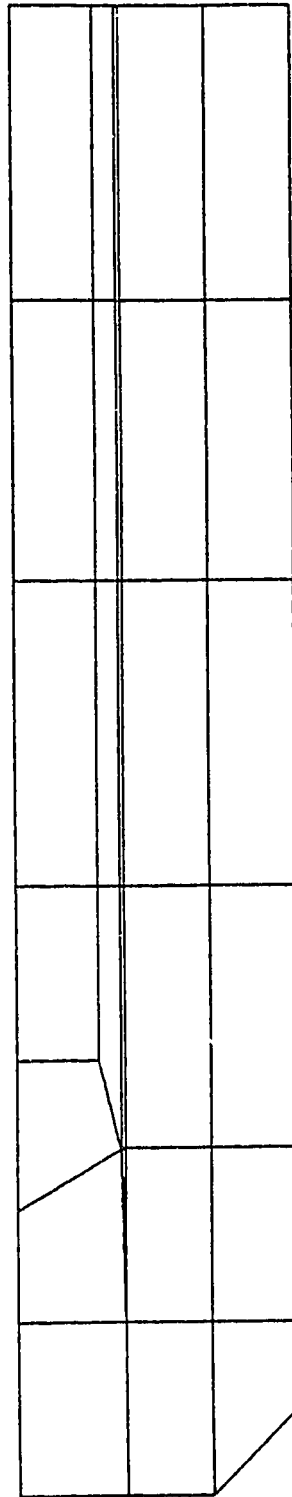
2) 温度依存性 (HOT SHOCK、*COLD SHOCK)

試験ID	解析条件				τ (63.2%到達時間)	
	高温Na (°C)	低温Na (°C)	温度幅 (°C)	流速 (l/min)	試験結果 (sec)	解析結果 (sec)
TEST02-1	400	350	50	200	16.6	17.1
TEST08-3	450	400	50	200	15.4	15.8
TEST09-3	500	450	50	200	14.7	15.3
* TEST02-2	400	350	50	200	15.15	16.55
* TEST08-4	450	400	50	200	14.6	15.9

3) ΔT 依存性 (HOT SHOCK)

試験ID	解析条件				τ (63.2%到達時間)	
	高温Na (°C)	低温Na (°C)	温度幅 (°C)	流速 (l/min)	試験結果 (sec)	解析結果 (sec)
TEST01-3	370	350	20	200	16.1	17.0
TEST02-1	400	350	50	200	16.6	17.1
TEST15-3	430	350	80	200	15.25	16.35
TEST17-3	480	350	130	200	15.7	16.3

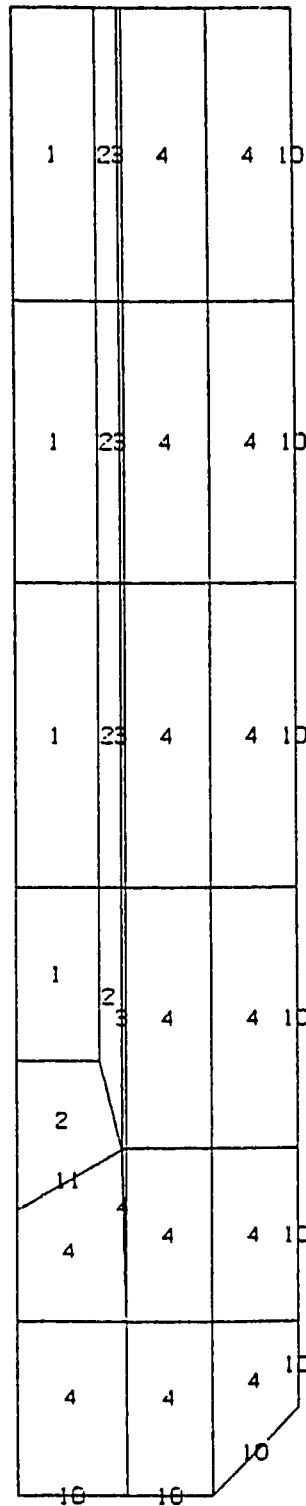
FINAS



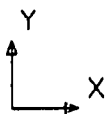
G.E.O.M. SCALE 1 _____ 5.00000

Fig.1 (1) 1次系用ウェル型熱電対モデル要素分割図

FINAS



1:MgO
 2:SUS347
 3:空気
 4:SUS304



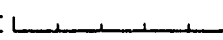
GEOM. SCALE  5.00000

Fig.1 (2) 1次系用ウェル型熱電対モデルの物性値対応図

FINAS

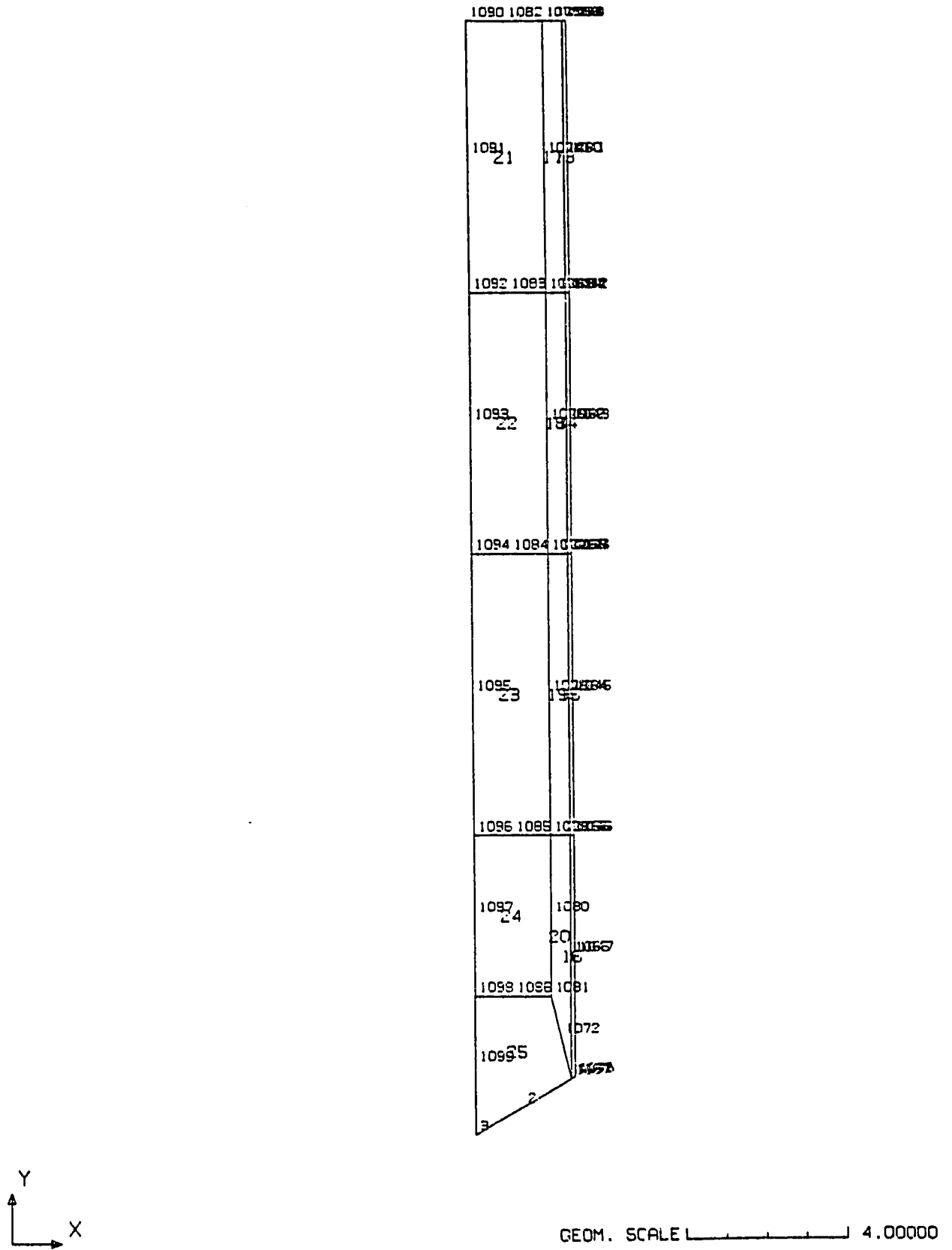
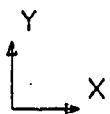
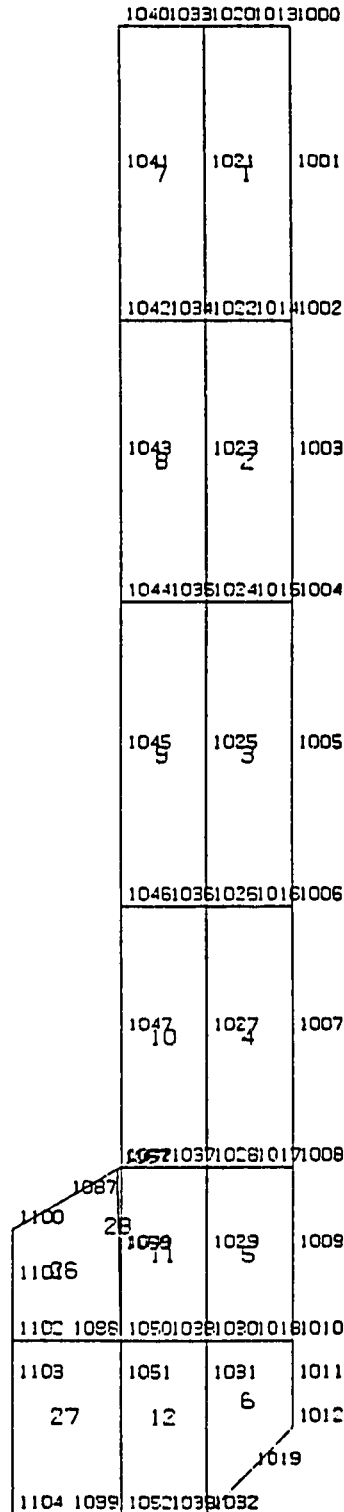


Fig.1 (3) 1次系用ウェル型熱電対シース側モデルの接点・要素番号

FINAS



GEOM. SCALE 5.00000

Fig.1 (4) 1次採用ウエル型熱電対ウエル側モデルの接点・要素番号

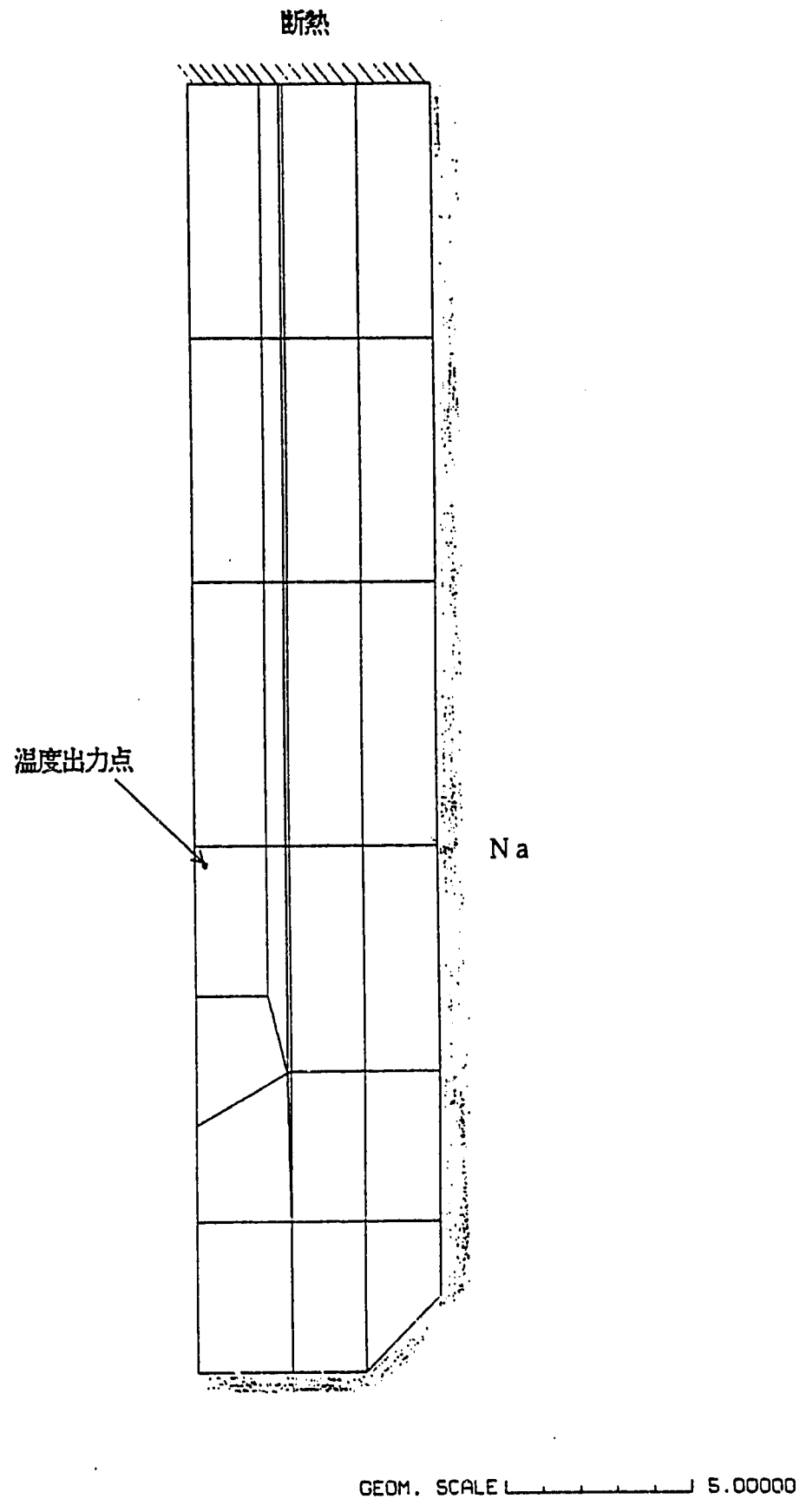


Fig.1 (5) 1次系用ウェル型熱電対モデル境界条件

DSW : POD2C17.SENSOR.DATA(TEST02v1)

DATE : 93-04-15 TIME : 10:08:21

	1	2	3	4	5	6	7	8
000001	FINAS							
000002	TITLE	MONJU METUDENTUI OUTOUSEISHIKEN MODEL4B TEST02-1						
000003	MOPRINT	DESCR						
000004	VDATA	CHECK						
000005	HEAT							
000006	V	1	2	3	4	5	6	7
000007	MODEL							
000008	=OFF							
000009	MODE							
000010	1000	3	6.500000	34.300	0.000E+00			
000011	1001	3	6.500000	30.900	0.000E+00			
000012	1002	3	6.500000	27.500	0.000E+00			
000013	1003	3	6.500000	24.250	0.000E+00			
000014	1004	3	6.500000	21.000	0.000E+00			
000015	1005	3	6.500000	17.500	0.000E+00			
000016	1006	3	6.500000	14.000	0.000E+00			
000017	1007	3	6.500000	11.000	0.000E+00			
000018	1008	3	6.500000	8.000000	0.000E+00			
000019	1009	3	6.500000	6.000000	0.000E+00			
000020	1010	3	6.500000	4.000000	0.000E+00			
000021	1011	3	6.500000	3.000000	0.000E+00			
000022	1012	3	6.500000	2.000000	0.000E+00			
000023	1013	3	5.500000	34.300	0.000E+00			
000024	1014	3	5.500000	27.500	0.000E+00			
000025	1015	3	5.500000	21.000	0.000E+00			
000026	1016	3	5.500000	14.000	0.000E+00			
000027	1017	3	5.500000	8.000000	0.000E+00			
000028	1018	3	5.500000	4.000000	0.000E+00			
000029	1019	3	5.500000	1.000E+00	0.000E+00			
000030	1020	3	4.500000	34.300	0.000E+00			
000031	1021	3	4.500000	30.900	0.000E+00			
000032	1022	3	4.500000	27.500	0.000E+00			
000033	1023	3	4.500000	24.250	0.000E+00			
000034	1024	3	4.500000	21.000	0.000E+00			
000035	1025	3	4.500000	17.500	0.000E+00			
000036	1026	3	4.500000	14.000	0.000E+00			
000037	1027	3	4.500000	11.000	0.000E+00			
000038	1028	3	4.500000	8.000000	0.000E+00			
000039	1029	3	4.500000	6.000000	0.000E+00			
000040	1030	3	4.500000	4.000000	0.000E+00			
000041	1031	3	4.500000	3.000000	0.000E+00			
000042	1032	3	4.500000	0.000E+00	0.000E+00			
000043	1033	3	3.500000	34.300	0.000E+00			
000044	1034	3	3.500000	27.500	0.000E+00			
000045	1035	3	3.500000	21.000	0.000E+00			
000046	1036	3	3.500000	14.000	0.000E+00			
000047	1037	3	3.500000	8.000000	0.000E+00			
000048	1038	3	3.500000	4.000000	0.000E+00			
000049	1039	3	3.500000	0.000E+00	0.000E+00			
000050	1040	3	2.500000	34.300	0.000E+00			
000051	1041	3	2.500000	30.900	0.000E+00			
000052	1042	3	2.500000	27.500	0.000E+00			
000053	1043	3	2.500000	24.250	0.000E+00			
000054	1044	3	2.500000	21.000	0.000E+00			
000055	1045	3	2.500000	17.500	0.000E+00			
000056	1046	3	2.500000	14.000	0.000E+00			
000057	1047	3	2.500000	11.000	0.000E+00			
000058	1048	3	2.500000	8.000000	0.000E+00			
000059	1049	3	2.500000	6.000000	0.000E+00			
000060	1050	3	2.500000	4.000000	0.000E+00			
000061	1051	3	2.500000	3.000000	0.000E+00			
000062	1052	3	2.500000	0.000E+00	0.000E+00			
000063	1053	3	2.450000	34.300	0.000E+00			
000064	1054	3	2.450000	27.500	0.000E+00			
000065	1055	3	2.450000	21.000	0.000E+00			
000066	1056	3	2.450000	14.000	0.000E+00			
000067	1057	3	2.450000	7.9711000	0.000E+00			
000068	1058	3	2.450000	5.9711500	0.000E+00			
000069	1059	3	2.4000001	34.300	0.000E+00			
000070	1060	3	2.4000001	30.900	0.000E+00			
000071	1061	3	2.4000001	27.500	0.000E+00			
000072	1062	3	2.4000001	24.250	0.000E+00			
000073	1063	3	2.4000001	21.000	0.000E+00			
000074	1064	3	2.4000001	17.500	0.000E+00			
000075	1065	3	2.4000001	14.000	0.000E+00			
000076	1066	3	2.4000001	11.000	0.000E+00			
000077	1067	3	2.4000001	7.9423000	0.000E+00			
000078	1	3	2.4000001	7.9423000	0.000E+00			
000079	1068	3	2.1500001	34.300	0.000E+00			
000080	1069	3	2.1500001	27.500	0.000E+00			

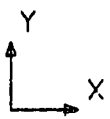
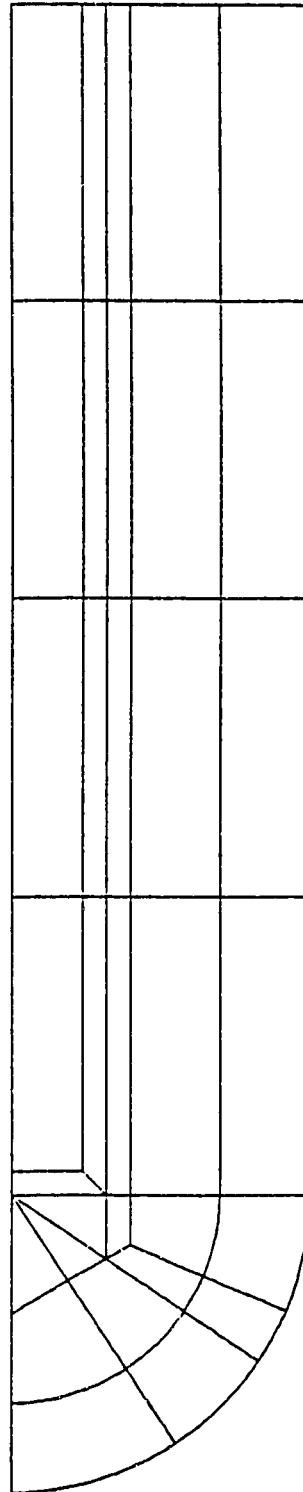
Fig.1 (6) 1次系用ウエル型熱電対モデルFINAS 入力データ

	1	2	3	4	5	6	7	8			
000081	1070	3	2.1500001	21.000	0.000E+00						
000082	1071	3	2.1500001	14.000	0.000E+00						
000083	1072	3	2.1500001	8.9711500	0.000E+00						
000084	1073	3	1.9000000	34.300	0.000E+00						
000085	1074	3	1.9000000	30.900	0.000E+00						
000086	1075	3	1.9000000	27.500	0.000E+00						
000087	1076	3	1.9000000	24.250	0.000E+00						
000088	1077	3	1.9000000	21.000	0.000E+00						
000089	1078	3	1.9000000	17.500	0.000E+00						
000090	1079	3	1.9000000	14.000	0.000E+00						
000091	1080	3	1.9000000	12.000	0.000E+00						
000092	1081	3	1.9000000	10.000	0.000E+00						
000093	1082	3	0.9500000	34.300	0.000E+00						
000094	1083	3	0.9500000	27.500	0.000E+00						
000095	1084	3	0.9500000	21.000	0.000E+00						
000096	1085	3	0.9500000	14.000	0.000E+00						
000097	1086	3	0.9500000	10.000	0.000E+00						
000098	1087	3	1.2000000	7.2496500	0.000E+00						
000099	2	3	1.2000000	7.2496500	0.000E+00						
000100	1088	3	1.2500000	4.0000000	0.000E+00						
000101	1089	3	1.2500000	0.000E+00	0.000E+00						
000102	1090	3	0.000E+00	34.300	0.000E+00						
000103	1091	3	0.000E+00	30.900	0.000E+00						
000104	1092	3	0.000E+00	27.500	0.000E+00						
000105	1093	3	0.000E+00	24.250	0.000E+00						
000106	1094	3	0.000E+00	21.000	0.000E+00						
000107	1095	3	0.000E+00	17.500	0.000E+00						
000108	1096	3	0.000E+00	14.000	0.000E+00						
000109	1097	3	0.000E+00	12.000	0.000E+00						
000110	1098	3	0.000E+00	10.000	0.000E+00						
000111	1099	3	0.000E+00	8.2785006	0.000E+00						
000112	1100	3	0.000E+00	6.5570002	0.000E+00						
000113	3	3	0.000E+00	6.5570002	0.000E+00						
000114	1101	3	0.000E+00	5.2785001	0.000E+00						
000115	1102	3	0.000E+00	4.0000000	0.000E+00						
000116	1103	3	0.000E+00	3.0000000	0.000E+00						
000117	1104	3	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00						
000118	ELEMENT TYPE										
000119	3	FCAX3									
000120	4	CALINK6									
000121	101	HQAX8									
000122	108	HTAX6									
000123	CONNECTION										
000124	1	101	4	1020	1021	1022	1013	1014	1000	1001	1002
000125	2	101	4	1022	1023	1024	1014	1015	1002	1003	1004
000126	3	101	4	1024	1025	1026	1015	1016	1004	1005	1006
000127	4	101	4	1026	1027	1028	1016	1017	1006	1007	1008
000128	5	101	4	1028	1029	1030	1017	1018	1008	1009	1010
000129	6	101	4	1030	1031	1032	1018	1019	1010	1011	1012
000130	7	101	4	1040	1041	1042	1033	1034	1020	1021	1022
000131	8	101	4	1042	1043	1044	1034	1035	1022	1023	1024
000132	9	101	4	1044	1045	1046	1035	1036	1024	1025	1026
000133	10	101	4	1046	1047	1048	1036	1037	1026	1027	1028
000134	11	101	4	1048	1049	1050	1037	1038	1028	1029	1030
000135	12	101	4	1050	1051	1052	1038	1039	1030	1031	1032
000136	13	101	3	1059	1060	1061	1053	1054	1040	1041	1042
000137	14	101	3	1061	1062	1063	1054	1055	1042	1043	1044
000138	15	101	3	1063	1064	1065	1055	1056	1044	1045	1046
000139	16	101	3	1065	1066	1067	1056	1057	1046	1047	1048
000140	17	101	2	1073	1074	1075	1068	1069	1059	1060	1061
000141	18	101	2	1075	1076	1077	1069	1070	1061	1062	1063
000142	19	101	2	1077	1078	1079	1070	1071	1063	1064	1065
000143	20	101	2	1079	1080	1081	1071	1072	1065	1066	1
000144	21	101	1	1090	1091	1092	1082	1083	1073	1074	1075
000145	22	101	1	1092	1093	1094	1083	1084	1075	1076	1077
000146	23	101	1	1094	1095	1096	1084	1085	1077	1078	1079
000147	24	101	1	1096	1097	1098	1085	1086	1079	1080	1081
000148	25	101	2	1098	1099	3	1086	2	1081	1072	1
000149	26	101	4	1100	1101	1102	1087	1088	1067	1058	1050
000150	27	101	4	1102	1103	1104	1088	1089	1050	1051	1052
000151	28	108	4	1067	1058	1050	1057	1049	1048		
000152	101	3	10	1002	1001	1000					
000153	102	3	10	1004	1003	1002					
000154	103	3	10	1006	1005	1004					
000155	104	3	10	1008	1007	1006					
000156	105	3	10	1010	1009	1008					
000157	106	3	10	1012	1011	1010					
000158	107	3	10	1012	1019	1012					
000159	108	3	10	1052	1039	1032					
000160	109	3	10	1104	1089	1052					

	1	2	3	4	5	6	7	8	
000161	201	4	11	1	2	3	1067	1087	1100
000162	-OM								
000163	MATERIAL								
000164	MGO (OMDO IZON WASHI)								
000165	1								
000166	KXX		F3	5					
000166		300.0	2.710E-7		350.0	2.710E-7	400.0	2.710E-7	
000169		450.0	2.710E-7		500.0	2.710E-7			
000170	C		F3	5					
000171		300.0	0.2813		350.0	0.2870	400.0	0.2911	
000172		450.0	0.2935		500.0	0.2943			
000173	DENS		F3	5					
000174		300.0	3.470E-6		350.0	3.463E-6	400.0	3.456E-6	
000175		450.0	3.450E-6		500.0	3.443E-6			
000176	SUS347								
000177	2 1SUS304								
000178	AIR (GAPPU 0.138NM)								
000179	3								
000180	KXX		F3	5					
000181		300.0	8.459E-9		350.0	9.195E-9	400.0	9.940E-9	
000182		450.0	1.069E-8		500.0	1.145E-8			
000183	C		F3	5					
000184		300.0	0.3478		350.0	0.3491	400.0	0.3519	
000185		450.0	0.3560		500.0	0.3602			
000186	DENS		F3	5					
000187		300.0	8.183E-10		350.0	7.562E-10	400.0	7.010E-10	
000188		450.0	6.527E-10		500.0	6.100E-10			
000189	SUS304								
000190	4 1SUS304								
000191	FILM COEFFICIENT								
000193	0.23M/S								
000194	10	1.55E-5							
000195	0.38M/S								
000196	10	2.06E-5							
000197	0.60M/S								
000198	10	2.68E-5							
000199	0.78M/S								
000200	10	3.11E-5							
000201	1.13M/S								
000202	10	3.86E-5							
000203	1.51M/S								
000204	10	4.57E-5							
000205	SESSHOKU NETUTEIKOU								
000206	11	6.94E-8							
000207	11	1.39E-7							
000208	11	2.78E-7							
000209	INITIAL TEMPERATURE								
000211	1	1104	1	351.0					
000212	CONVECTION								
000213	30								
000214		101	109	1	1.0	1.0	1.0		
000215	HISTORY								
000218	INTERVAL	1							5.00
000219	CONV	30							0.00
000220	INTERVAL	1							0.10
000221	CONV	30							3.42
000222	INTERVAL	1							0.07
000223	CONV	30							5.58
000224	INTERVAL	1							0.14
000225	CONV	30							10.0
000226	INTERVAL	1							0.09
000227	CONV	30							5.00
000228	INTERVAL	1							0.16
000229	CONV	30							5.00
000230	INTERVAL	1							0.11
000231	CONV	30							3.50
000232	INTERVAL	1							0.10
000233	CONV	30							1.80
000234	INTERVAL	1							0.11
000235	CONV	30							1.40
000236	INTERVAL	1							0.12
000237	CONV	30							1.44
000238	INTERVAL	1							0.23
000239	CONV	30							1.86
000240	INTERVAL	1							0.29

	1	2	3	4	5	6	7	8
000241	CONV	30	1.60					
000242	INTERVAL	1	0.29					
000243	CONV	30	1.30					
000244	INTERVAL	1	0.20					
000245	CONV	30	0.70					
000246	INTERVAL	1	0.50					
000247	CONV	30	1.40					
000248	INTERVAL	1	0.50					
000249	CONV	30	1.00					
000250	INTERVAL	1	0.51					
000251	CONV	30	0.50					
000252	INTERVAL	1	0.49					
000253	CONV	30	0.70					
000254	INTERVAL	2	1.00					
000255	CONV	30	0.60					
000256	INTERVAL	3	5.00					
000257	CONV	30	1.60					
000258	INTERVAL	3	5.00					
000259	CONV	30	1.00					
000260	INTERVAL	3	5.00					
000261	CONV	30	0.40					
000262	INTERVAL	8	15.0					
000263	CONV	30	0.50					
000264	INTERVAL	40	80.0					
000265	CONV	30	0.0					
000266	END MODEL							
000267	OUTPUT							
000268	NSET1	99	1096	1067	1	1008		
000269	PRINT SELECT							
000270	ELM	NONE						
000271	TEMP	NONE						
000272	✕							
000273	POST TAPE							
000274	TEMP	99						
000275	✕							
000276	END OUTPUT							
000277	END FINAS							

FINAS



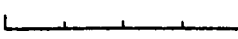
GEOM. SCALE  4.00000

Fig.2 (1) 2次系用ウェル型熱電対モデル要素分割図

FINAS

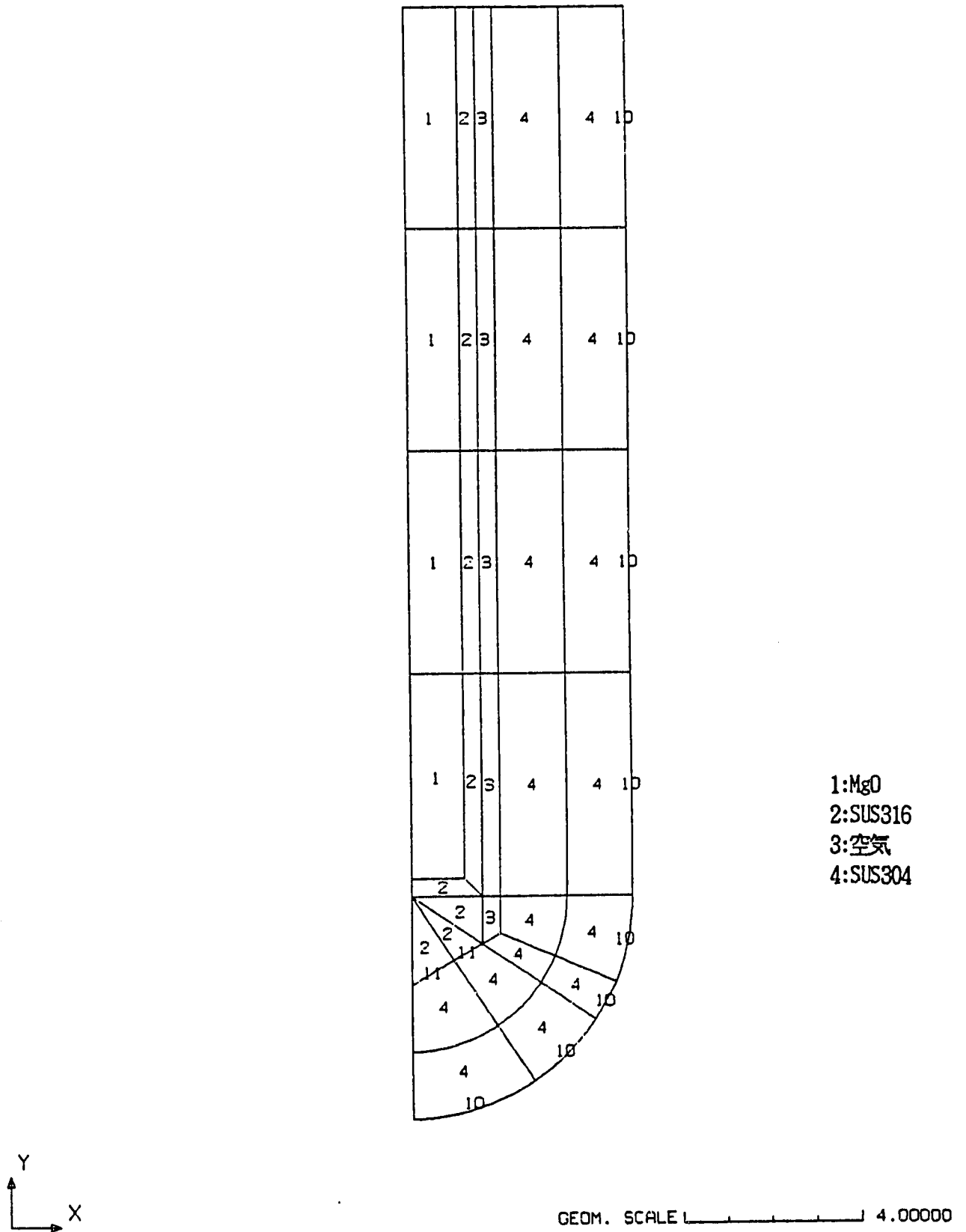
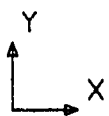
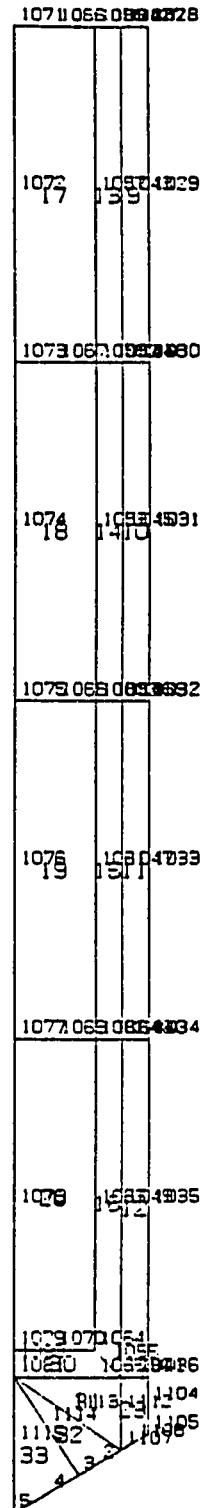


Fig.2 (2) 2次系用ウェル型熱電対モデルの物性値対応図

FINAS



GEOM. SCALE _____ 3.00000

Fig.2 (3) 2次系用ウェル型熱電対シース側モデルの接点・要素番号

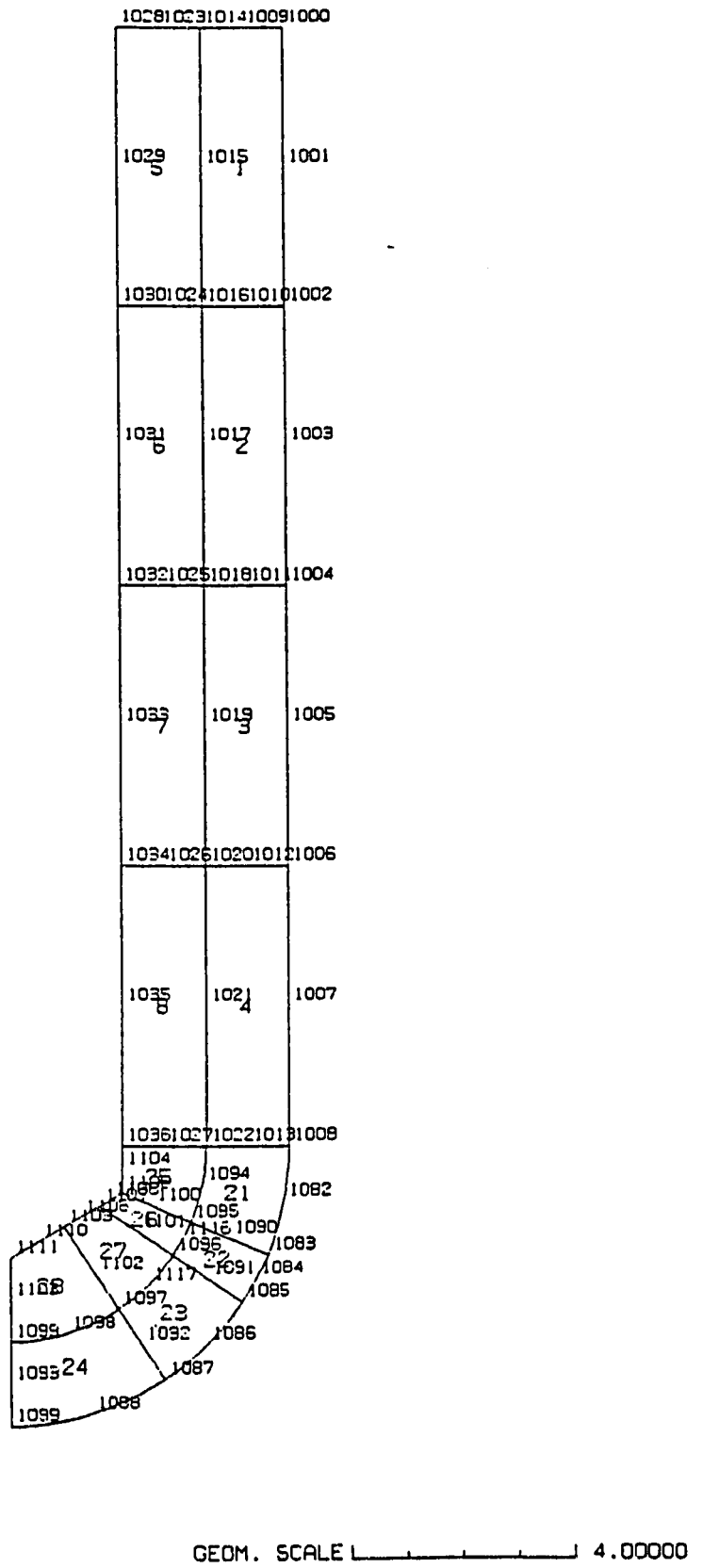


Fig.2 (4) 2次系用ウェル型熱電対ウェル側モデルの接点・要素番号

FINAS

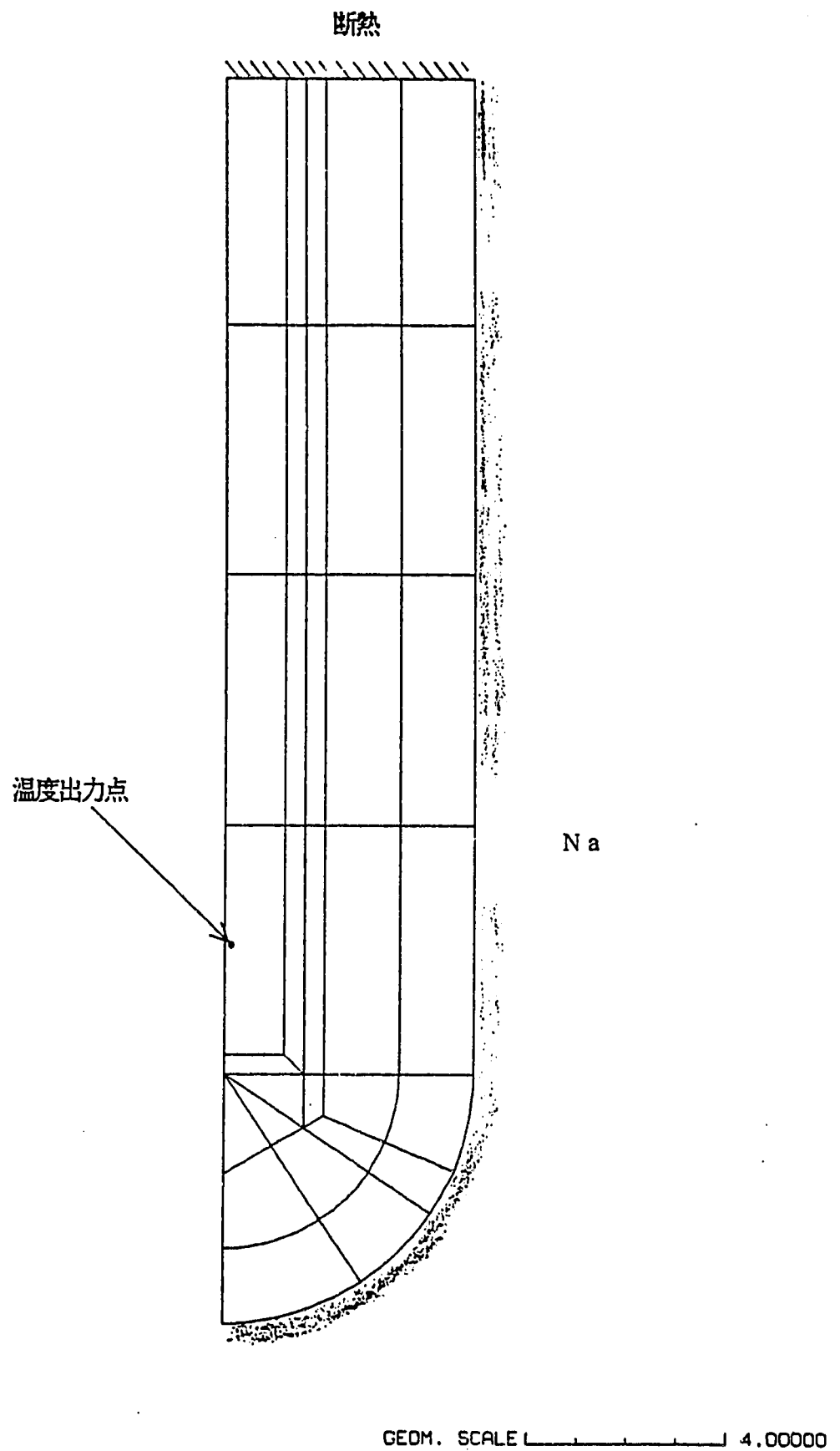


Fig.2 (5) 2次系用ウェル型熱電対モデル境界条件

	1	2	3	4	5	6	7	8
000001	FINAS							
000002	TITLE	MONJU NETUDENTUJ OUTOUSEISHIKEM MODEL32 TEST02-1						
000003	NOPRINT	DESCR						
000004	DATA CHECK							
000005	HEAT							
000006	V	1	2	3	4	5	6	7
000007	MODEL							
000008	-OFF							
000009	MODE							
000010	1000	3	5.0000000	25.000	0.000E+00			
000011	1001	3	5.0000000	22.500	0.000E+00			
000012	1002	3	5.0000000	20.000	0.000E+00			
000013	1003	3	5.0000000	17.500	0.000E+00			
000014	1004	3	5.0000000	15.000	0.000E+00			
000015	1005	3	5.0000000	12.500	0.000E+00			
000016	1006	3	5.0000000	10.000	0.000E+00			
000017	1007	3	5.0000000	7.5000000	0.000E+00			
000018	1008	3	5.0000000	5.0000000	0.000E+00			
000019	1009	3	4.2500000	25.000	0.000E+00			
000020	1010	3	4.2500000	20.000	0.000E+00			
000021	1011	3	4.2500000	15.000	0.000E+00			
000022	1012	3	4.2500000	10.000	0.000E+00			
000023	1013	3	4.2500000	5.0000000	0.000E+00			
000024	1014	3	3.5000000	25.000	0.000E+00			
000025	1015	3	3.5000000	22.500	0.000E+00			
000026	1016	3	3.5000000	20.000	0.000E+00			
000027	1017	3	3.5000000	17.500	0.000E+00			
000028	1018	3	3.5000000	15.000	0.000E+00			
000029	1019	3	3.5000000	12.500	0.000E+00			
000030	1020	3	3.5000000	10.000	0.000E+00			
000031	1021	3	3.5000000	7.5000000	0.000E+00			
000032	1022	3	3.5000000	5.0000000	0.000E+00			
000033	1023	3	2.7500000	25.000	0.000E+00			
000034	1024	3	2.7500000	20.000	0.000E+00			
000035	1025	3	2.7500000	15.000	0.000E+00			
000036	1026	3	2.7500000	10.000	0.000E+00			
000037	1027	3	2.7500000	5.0000000	0.000E+00			
000038	1028	3	2.0000000	25.000	0.000E+00			
000039	1029	3	2.0000000	22.500	0.000E+00			
000040	1030	3	2.0000000	20.000	0.000E+00			
000041	1031	3	2.0000000	17.500	0.000E+00			
000042	1032	3	2.0000000	15.000	0.000E+00			
000043	1033	3	2.0000000	12.500	0.000E+00			
000044	1034	3	2.0000000	10.000	0.000E+00			
000045	1035	3	2.0000000	7.5000000	0.000E+00			
000046	1036	3	2.0000000	5.0000000	0.000E+00			
000047	1037	3	1.8000001	25.000	0.000E+00			
000048	1038	3	1.8000001	20.000	0.000E+00			
000049	1039	3	1.8000001	15.000	0.000E+00			
000050	1040	3	1.8000001	10.000	0.000E+00			
000051	1041	3	1.8000001	5.0000000	0.000E+00			
000052	1042	3	1.6000000	25.000	0.000E+00			
000053	1043	3	1.6000000	22.500	0.000E+00			
000054	1044	3	1.6000000	20.000	0.000E+00			
000055	1045	3	1.6000000	17.500	0.000E+00			
000056	1046	3	1.6000000	15.000	0.000E+00			
000057	1047	3	1.6000000	12.500	0.000E+00			
000058	1048	3	1.6000000	10.000	0.000E+00			
000059	1049	3	1.6000000	7.5000000	0.000E+00			
000060	1050	3	1.6000000	5.0000000	0.000E+00			
000061	1051	3	1.4000001	25.000	0.000E+00			
000062	1052	3	1.4000001	20.000	0.000E+00			
000063	1053	3	1.4000001	15.000	0.000E+00			
000064	1054	3	1.4000001	10.000	0.000E+00			
000065	1055	3	1.4000001	5.1999998	0.000E+00			
000066	1056	3	1.2000000	25.000	0.000E+00			
000067	1057	3	1.2000000	22.500	0.000E+00			
000068	1058	3	1.2000000	20.000	0.000E+00			
000069	1059	3	1.2000000	17.500	0.000E+00			
000070	1060	3	1.2000000	15.000	0.000E+00			
000071	1061	3	1.2000000	12.500	0.000E+00			
000072	1062	3	1.2000000	10.000	0.000E+00			
000073	1063	3	1.2000000	7.5000000	0.000E+00			
000074	1064	3	1.2000000	5.4000001	0.000E+00			
000075	1065	3	1.2000000	5.0000000	0.000E+00			
000076	1066	3	0.6000000	25.000	0.000E+00			
000077	1067	3	0.6000000	20.000	0.000E+00			
000078	1068	3	0.6000000	15.000	0.000E+00			
000079	1069	3	0.6000000	10.000	0.000E+00			
000080	1070	3	0.6000000	5.4000001	0.000E+00			

Fig.2 (6) 2次系用ウェル型熱電対モデルFINAS 入力データ

	1	2	3	4	5	6	7	8			
000081	1071	3	0.000E+00	25.000	0.000E+00						
000082	1072	3	0.000E+00	22.500	0.000E+00						
000083	1073	3	0.000E+00	20.000	0.000E+00						
000084	1074	3	0.000E+00	17.500	0.000E+00						
000085	1075	3	0.000E+00	15.000	0.000E+00						
000086	1076	3	0.000E+00	12.500	0.000E+00						
000087	1077	3	0.000E+00	10.000	0.000E+00						
000088	1078	3	0.000E+00	7.5000000	0.000E+00						
000089	1079	3	0.000E+00	5.4000001	0.000E+00						
000090	1080	3	0.000E+00	5.1999998	0.000E+00						
000091	1081	3	0.000E+00	5.0000000	0.000E+00						
000092	1082	3	4.9003196	4.0065889	0.000E+00						
000093	1083	3	4.6190000	3.0500000	0.000E+00						
000094	1084	3	4.3986459	2.6226242	0.000E+00						
000095	1085	3	4.1496830	2.2107110	0.000E+00						
000096	1086	3	3.5236304	1.4526025	0.000E+00						
000097	1087	3	2.7600000	0.8330000	0.000E+00						
000098	1088	3	1.4414823	0.2122940	0.000E+00						
000099	1089	3	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00						
000100	1090	3	3.9153848	3.3470445	0.000E+00						
000101	1091	3	3.5272303	2.6291044	0.000E+00						
000102	1092	3	2.3468690	1.4567379	0.000E+00						
000103	1093	3	0.000E+00	0.7500000	0.000E+00						
000104	1094	3	3.4302239	4.3046122	0.000E+00						
000105	1095	3	3.2244349	3.6387424	0.000E+00						
000106	1096	3	2.9047780	3.0474975	0.000E+00						
000107	1097	3	1.9327158	2.0820193	0.000E+00						
000108	1098	3	1.0090377	1.6486056	0.000E+00						
000109	1099	3	0.000E+00	1.5000000	0.000E+00						
000110	1100	3	2.5334845	3.9304407	0.000E+00						
000111	1101	3	2.2823257	3.4658909	0.000E+00						
000112	1102	3	1.5185624	2.7073009	0.000E+00						
000113	1103	3	0.000E+00	2.2500000	0.000E+00						
000114	1104	3	2.0000000	4.5778303	0.000E+00						
000115	1105	3	2.0000000	4.1556616	0.000E+00						
000116	1106	3	1.7876152	4.0329390	0.000E+00						
000117	1107	3	1.6000000	3.9245291	0.000E+00						
000118	1	3	1.6000000	3.9245291	0.000E+00						
000119	1108	3	1.2587714	3.7273567	0.000E+00						
000120	2	3	1.2587714	3.7273567	0.000E+00						
000121	1109	3	0.9580319	3.5535800	0.000E+00						
000122	3	3	0.9580319	3.5535800	0.000E+00						
000123	1110	3	0.5129248	3.2963834	0.000E+00						
000124	4	3	0.5129248	3.2963834	0.000E+00						
000125	1111	3	0.000E+00	3.0000000	0.000E+00						
000126	5	3	0.000E+00	3.0000000	0.000E+00						
000127	1112	3	1.6000000	4.4622645	0.000E+00						
000128	1113	3	0.8000000	4.4622645	0.000E+00						
000129	1114	3	0.4790159	4.2767901	0.000E+00						
000130	1115	3	0.000E+00	4.0000000	0.000E+00						
000131	1116	3	3.0790520	3.3358369	0.000E+00						
000132	1117	3	2.4665413	2.5168214	0.000E+00						
000133	ELEMENT TYPE										
000134	3	FCAX3									
000135	4	CALINK6									
000136	101	HQAX8									
000137	108	HTAX6									
000138	CONNECTION										
000139	1	101	4	1014	1015	1016	1009	1010	1000	1001	1002
000140	2	101	4	1016	1017	1018	1010	1011	1002	1003	1004
000141	3	101	4	1018	1019	1020	1011	1012	1004	1005	1006
000142	4	101	4	1020	1021	1022	1012	1013	1006	1007	1008
000143	5	101	4	1028	1029	1030	1023	1024	1014	1015	1016
000144	6	101	4	1030	1031	1032	1024	1025	1016	1017	1018
000145	7	101	4	1032	1033	1034	1025	1026	1018	1019	1020
000146	8	101	4	1034	1035	1036	1026	1027	1020	1021	1022
000147	9	101	3	1042	1043	1044	1037	1038	1028	1029	1030
000148	10	101	3	1044	1045	1046	1038	1039	1030	1031	1032
000149	11	101	3	1046	1047	1048	1039	1040	1032	1033	1034
000150	12	101	3	1048	1049	1050	1040	1041	1034	1035	1036
000151	13	101	2	1056	1057	1058	1051	1052	1042	1043	1044
000152	14	101	2	1058	1059	1060	1052	1053	1044	1045	1046
000153	15	101	2	1060	1061	1062	1053	1054	1046	1047	1048
000154	16	101	2	1062	1063	1064	1054	1055	1048	1049	1050
000155	17	101	1	1071	1072	1073	1066	1067	1056	1057	1058
000156	18	101	1	1073	1074	1075	1067	1068	1058	1059	1060
000157	19	101	1	1075	1076	1077	1068	1069	1060	1061	1062
000158	20	101	1	1077	1078	1079	1069	1070	1062	1063	1064
000159	21	101	4	1022	1094	1095	1013	1090	1008	1082	1083
000160	22	101	4	1095	1116	1096	1090	1091	1083	1084	1085

```

.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
000161 23 101 4 1096 1117 1097 1091 1092 1085 1086 1087
000162 24 101 4 1097 1098 1099 1092 1093 1087 1088 1089
000163 25 101 4 1036 1104 1105 1027 1100 1022 1094 1095
000164 26 101 4 1105 1106 1107 1100 1101 1095 1116 1096
000165 27 101 4 1107 1108 1109 1101 1102 1096 1117 1097
000166 28 101 4 1109 1110 1111 1102 1103 1097 1098 1099
000167 29 101 3 1050 1112 1107 1041 1106 1036 1104 1105
000168 30 101 2 1079 1080 1081 1070 1065 1064 1055 1050
000169 31 108 2 1081 1113 1 1065 1112 1050
000170 32 108 2 1081 1114 3 1113 2 1
000171 33 108 2 1081 1115 5 1114 4 3
000172 101 3 10 1002 1001 1000
000173 102 3 10 1004 1003 1002
000174 103 3 10 1006 1005 1004
000175 104 3 10 1008 1007 1006
000176 105 3 10 1083 1082 1008
000177 106 3 10 1085 1084 1083
000178 107 3 10 1087 1086 1085
000179 108 3 10 1089 1088 1087
000180 201 4 11 1 2 3 1107 1108 1109
000181 202 4 11 3 4 5 1109 1110 1111
000182 -OM
000183 v
000184 MATERIAL
000185 v----- MGO
000186 1
000187 KXX F3 5
000188 300.0 2.710E-7 350.0 2.710E-7 400.0 2.710E-7
000189 450.0 2.710E-7 500.0 2.710E-7
000190 C F3 5
000191 300.0 0.2813 350.0 0.2870 400.0 0.2911
000192 450.0 0.2935 500.0 0.2943
000193 DENS F3 5
000194 300.0 3.470E-6 350.0 3.463E-6 400.0 3.456E-6
000195 450.0 3.450E-6 500.0 3.443E-6
000196 v----- SUS316
000197 2 1SUS316
000198 v
000199 v----- AIR (GYAPPU 0.3MM)
000200 3
000201 KXX F3 5
000202 300.0 1.580E-8 350.0 1.722E-8 400.0 1.867E-8
000203 450.0 2.014E-8 500.0 2.165E-8
000204 C F3 5
000205 300.0 0.1890 350.0 0.1898 400.0 0.1913
000206 450.0 0.1935 500.0 0.1958
000207 DENS F3 5
000208 300.0 4.448E-10 350.0 4.110E-10 400.0 3.810E-10
000209 450.0 3.548E-10 500.0 3.315E-10
000210 v
000211 v----- SUS304
000212 4 1SUS304
000213 v
000214 FILM COEFFICIENT
000215 v 0.23M/S
000216 v 10 1.73E-5
000217 v 0.38M/S
000218 v 10 2.31E-5
000219 v 0.60M/S
000220 v 10 2.99E-5
000221 v 0.78M/S
000222 v 10 3.48E-5
000223 v 1.13M/S
000224 v 10 4.31E-5
000225 v 1.51M/S
000226 10 5.10E-5
000227 v SESSHOKU METUTEIKOU
000228 v 11 6.94E-8
000229 11 1.39E-7
000230 v 11 2.78E-7
000231 v
000232 INITIAL TEMPERATURE
000233 1 1117 1 350.6
000234 v
000235 CONVECTION
000236 30
000237 101 108 1 1.0 1.0 1.0
000238 v
000239 HISTORY
000240 INTERVAL 1 0.0
.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
1 2 3 4 5 6 7 8

```

	1	2	3	4	5	6	7	8
000241	0	0	0	0	0	0	0	0
000241		CONV	30	0.0				
000242	INTERVAL	1	30	5.50				
000243		CONV	30	0.0				
000244	INTERVAL	1	30	0.36				
000245		CONV	30	9.40				
000246	INTERVAL	1	30	0.42				
000247		CONV	30	10.0				
000248	INTERVAL	1	30	0.79				
000249		CONV	30	10.0				
000250	INTERVAL	2	30	1.73				
000251		CONV	30	10.0				
000252	INTERVAL	2	30	1.20				
000253		CONV	30	3.38				
000254	INTERVAL	2	30	2.04				
000255		CONV	30	2.62				
000256	INTERVAL	2	30	1.57				
000257		CONV	30	1.21				
000258	INTERVAL	2	30	2.20				
000259		CONV	30	1.14				
000260	INTERVAL	2	30	1.99				
000261		CONV	30	0.86				
000262	INTERVAL	2	30	2.20				
000263		CONV	30	0.44				
000264	INTERVAL	3	30	3.56				
000265		CONV	30	0.35				
000266	INTERVAL	4	30	6.44				
000267		CONV	30	0.60				
000268	INTERVAL	7	30	10.0				
000269		CONV	30	0.40				
000270	INTERVAL	50	30	80.0				
000271		CONV	30	0.0				
000272	END MODEL							
000273	OUTPUT							
000274	NSET1	99	1078	1007				
000275	PRINT SELECT							
000276	ELM	NONE						
000277	TEMP	NONE						
000278	Y							
000279	POST TAPE							
000280	TEMP	99						
000281	Y							
000282	END OUTPUT							
000283	END FINAS							
	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8

TEST02-1、1次系熱電対

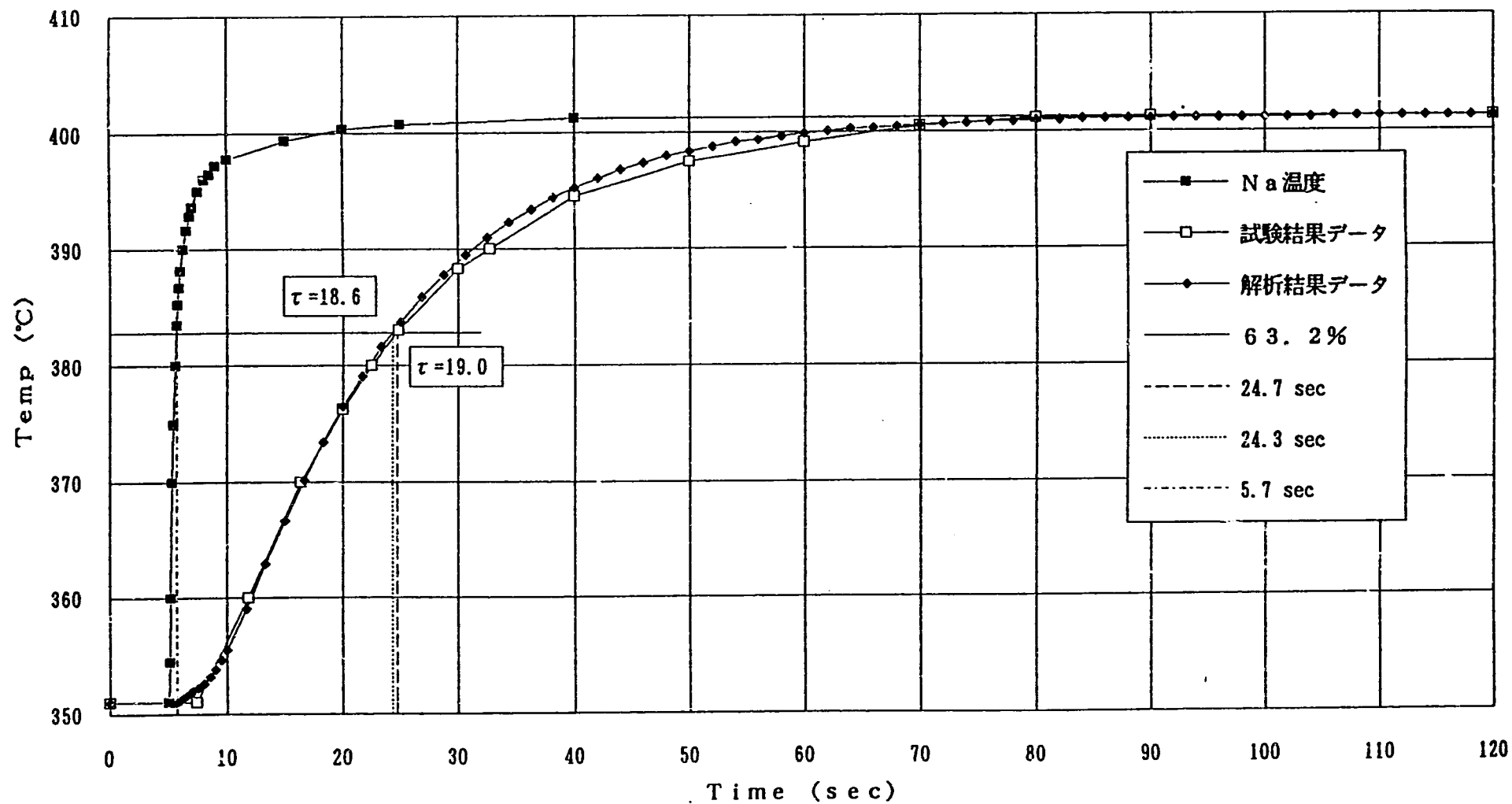


Fig.3(1) 1次系熱電対・TEST02-1 (HOT SHOCK)

TEST04-3、1次系熱電対

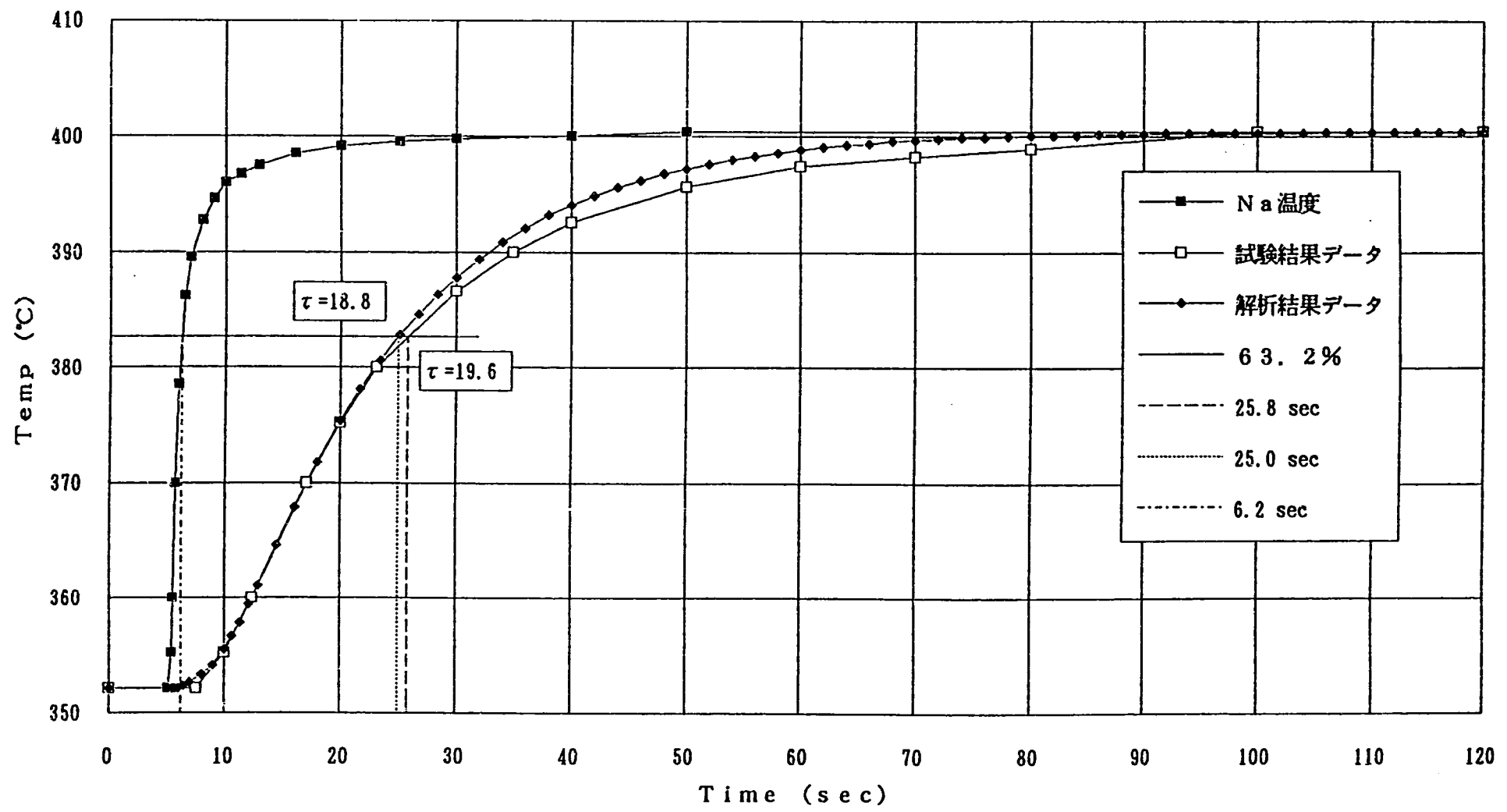
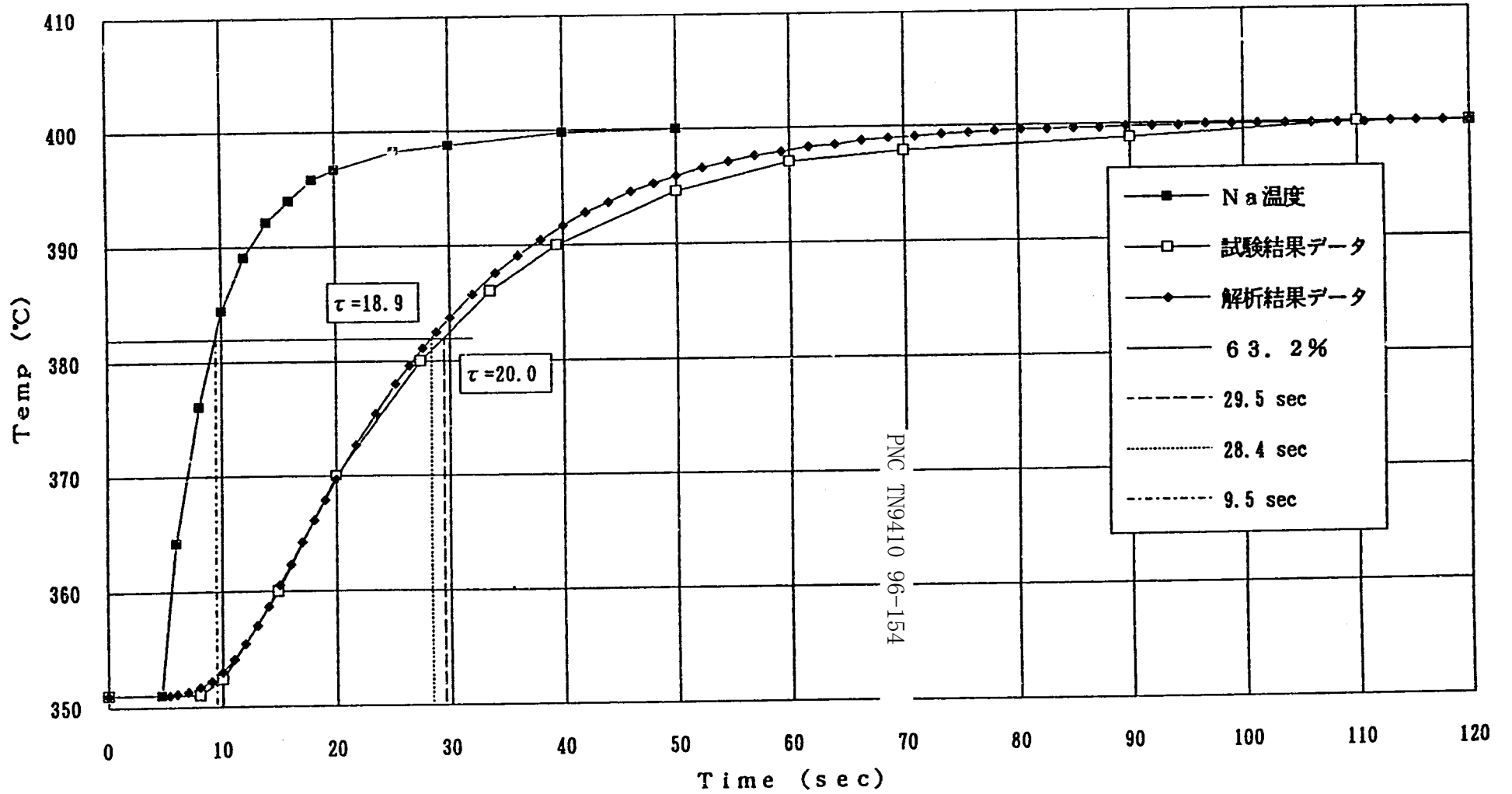


Fig.3(2) 1次系熱電対・TEST04-3 (HOT SHOCK)

TEST07-5、1次系熱電対



PNC TN9410 96-154

Fig.3(3) 1次系熱電対・TEST07-5 (HOT SHOCK)

TEST08-3、1次系熱電対

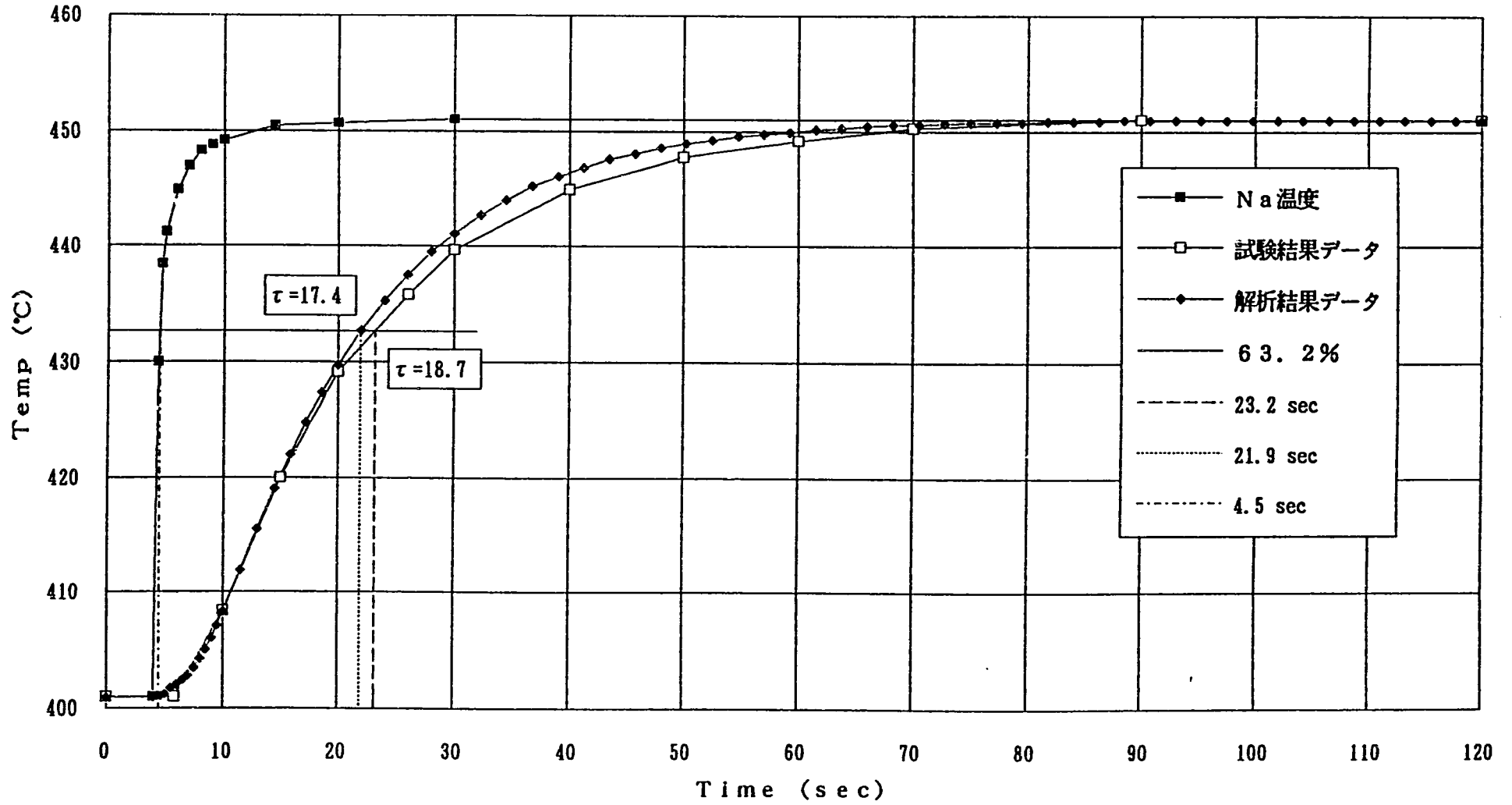
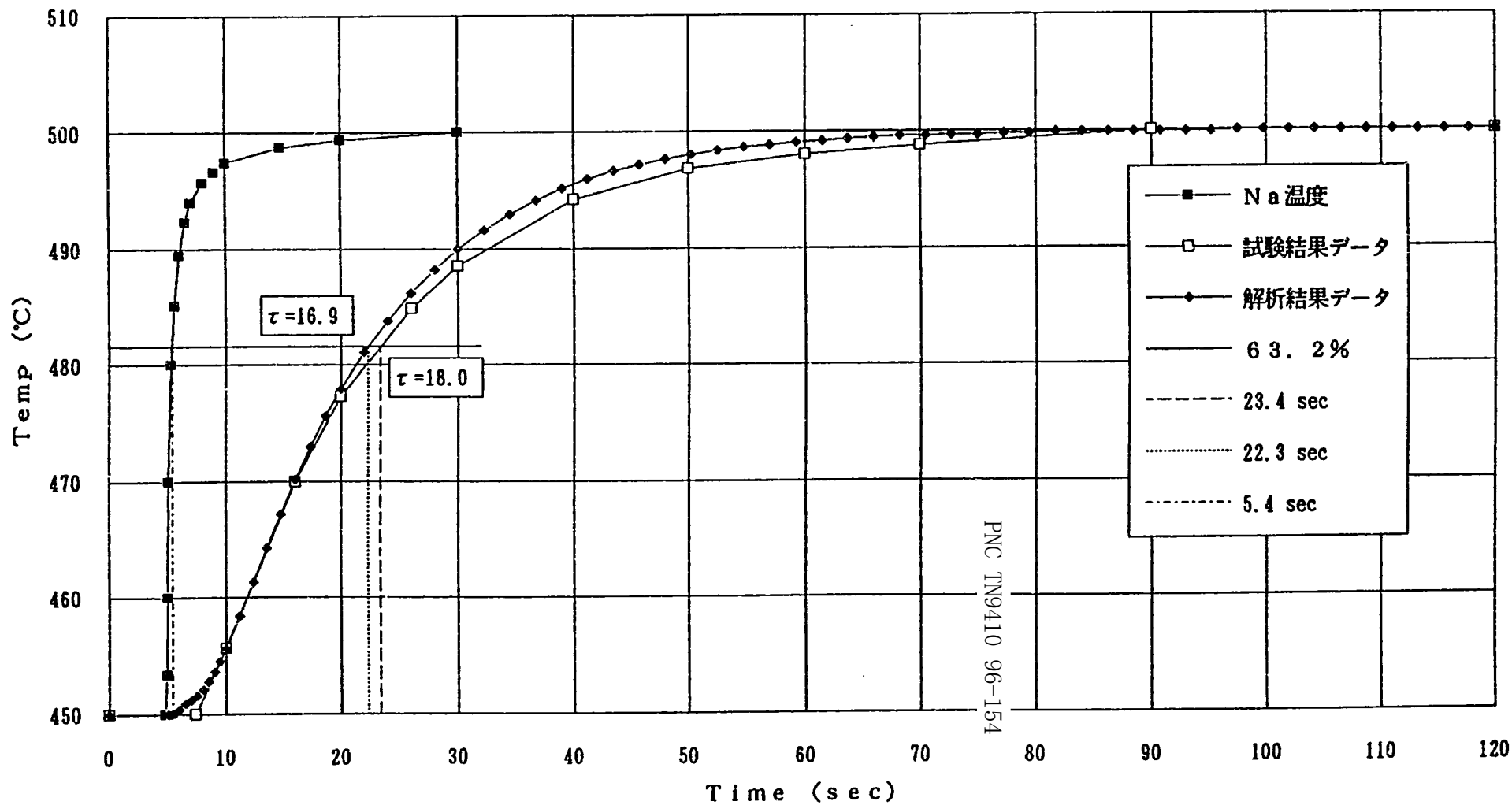


Fig.3(4) 1次系熱電対・TEST08-3 (HOT SHOCK)

TEST09-3、1次系熱電対



PNC TN9410 96-154

Fig.3(5) 1次系熱電対・TEST09-3 (HOT SHOCK)

TEST 02-2、1次系熱電対

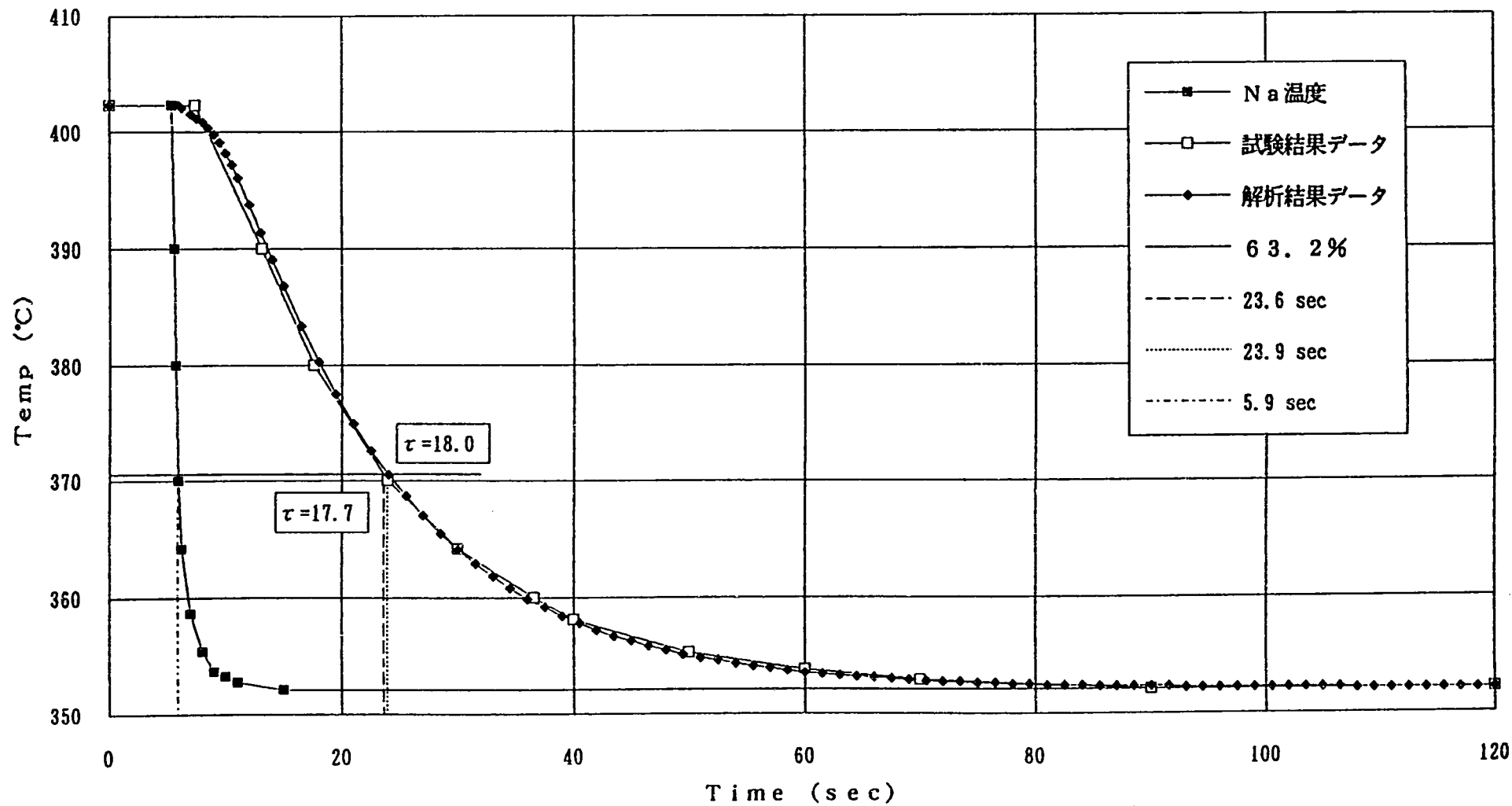


Fig.3(6) 1次系熱電対・TEST 02-2 (COLD SHOCK)

TEST08-4、1次系熱電対

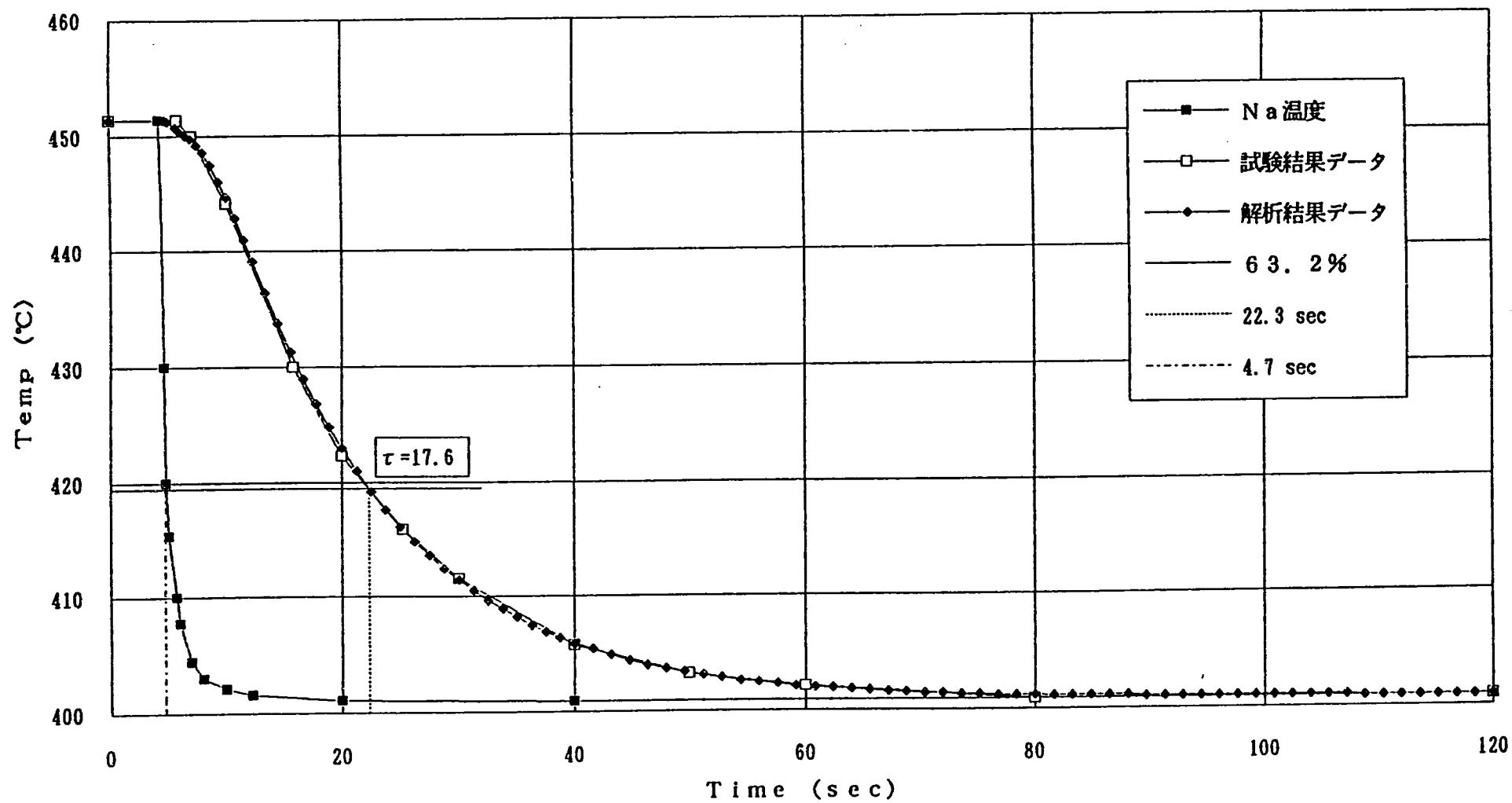


Fig.3(7) 1次系熱電対・TEST08-4 (COLD SHOCK)

TEST01-3、1次系熱電対

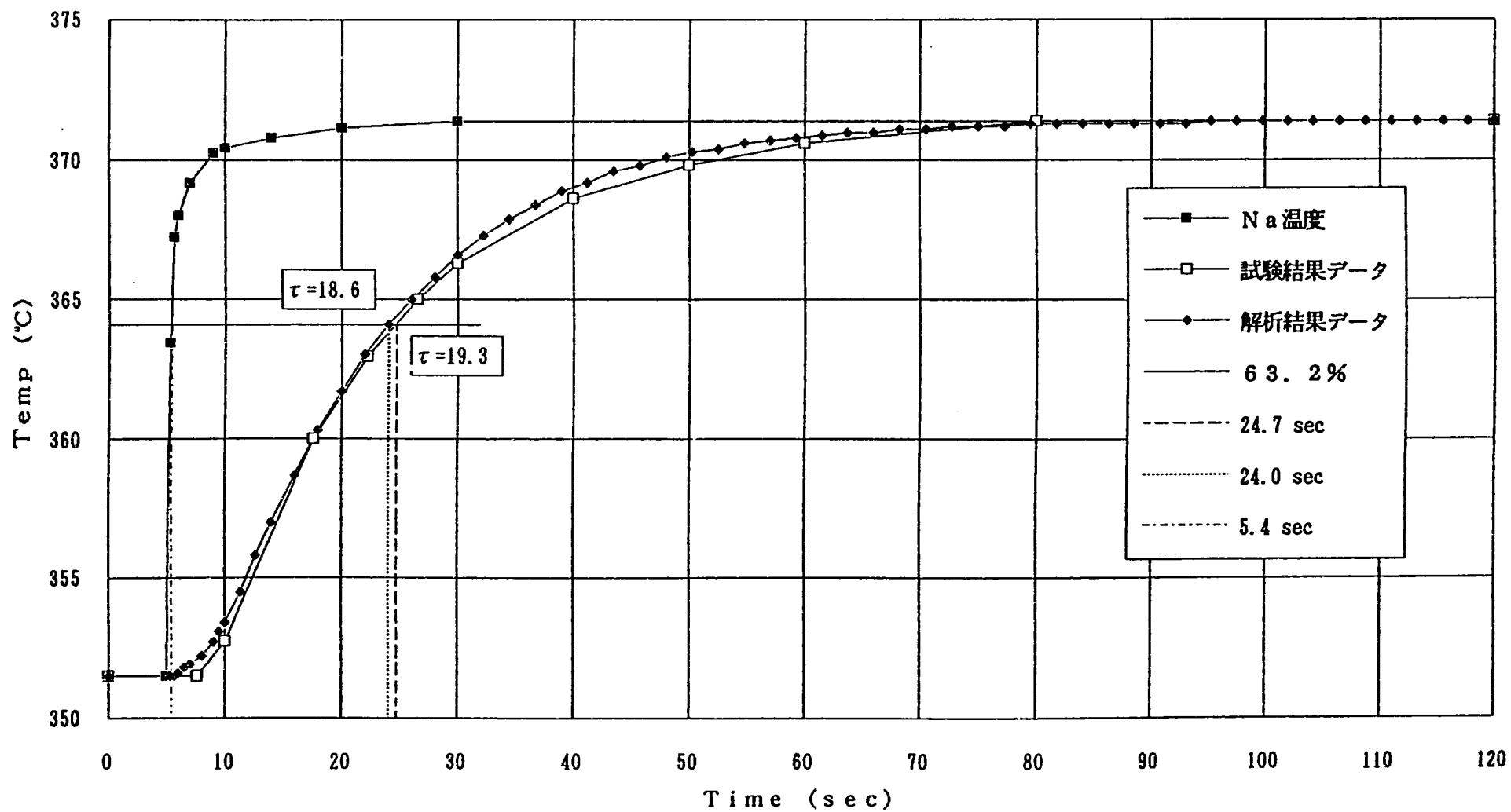


Fig.3(8) 1次系熱電対・TEST01-3 (HOT SHOCK)

TEST15-3、1次系熱電対

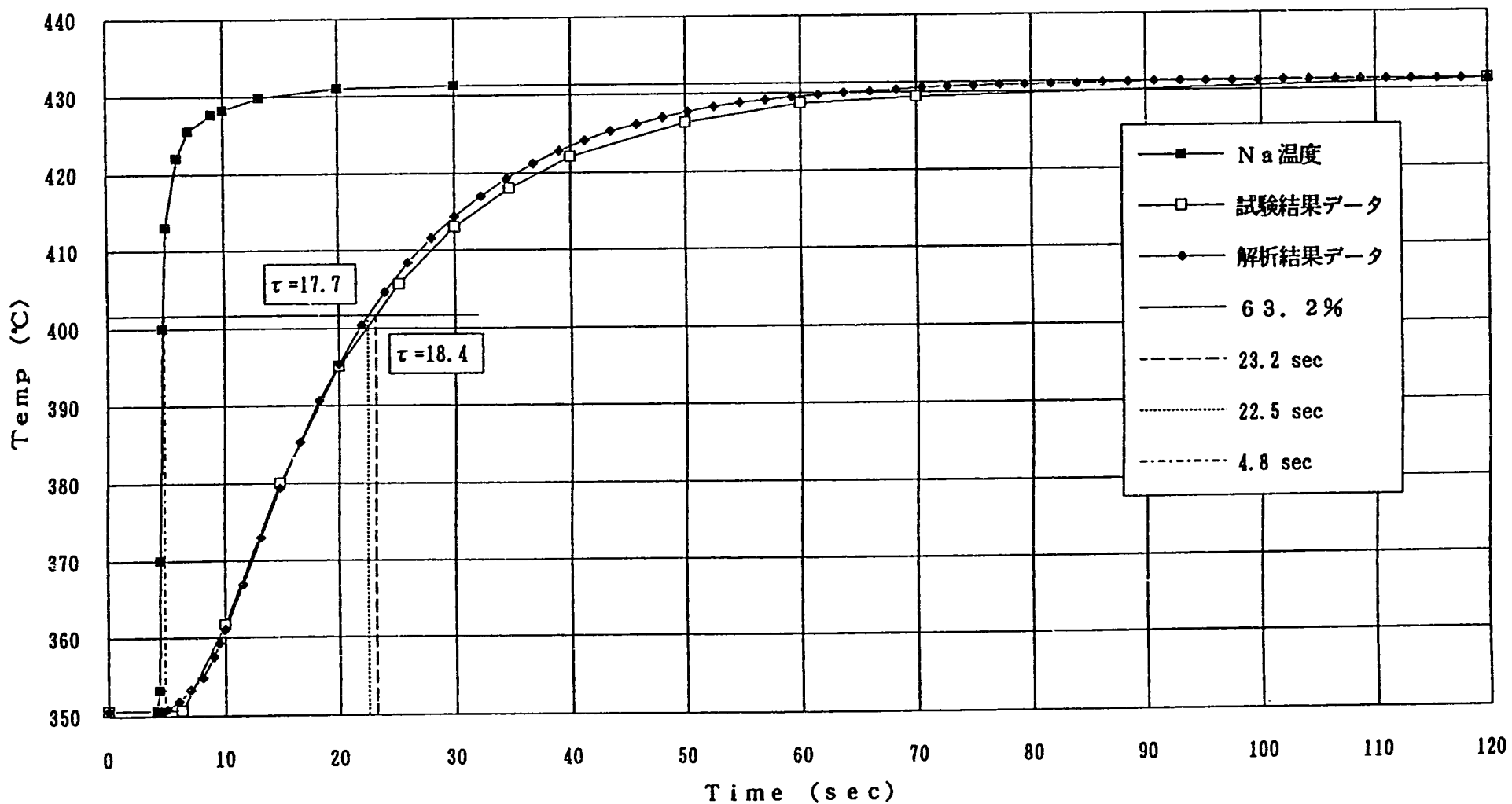


Fig.3(9) 1次系熱電対・TEST15-3 (HOT SHOCK)

TEST17-3、1次系熱電対

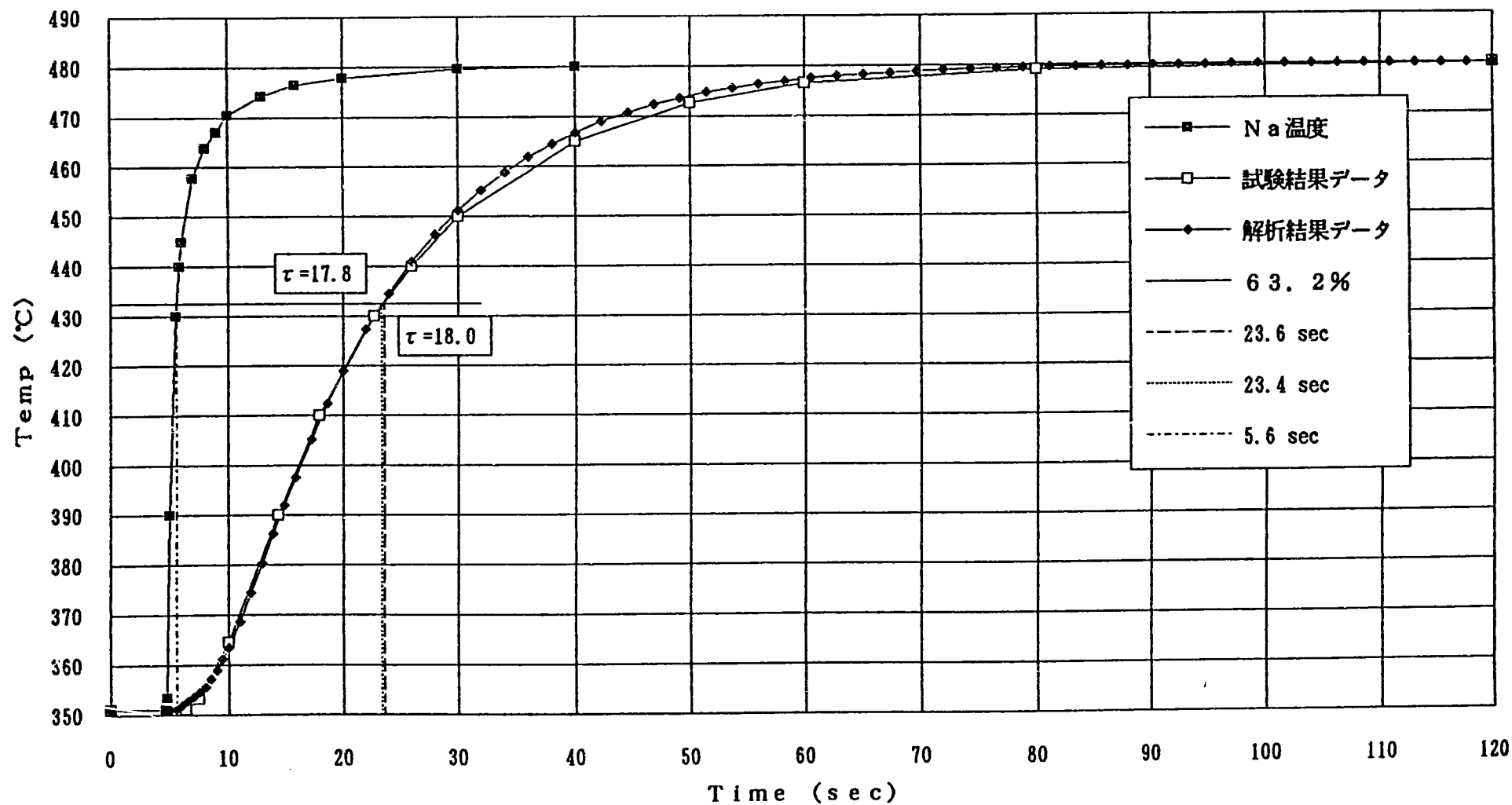


Fig.3(10) 1次系熱電対・TEST17-3 (HOT SHOCK)

TEST02-1、2次系熱電対

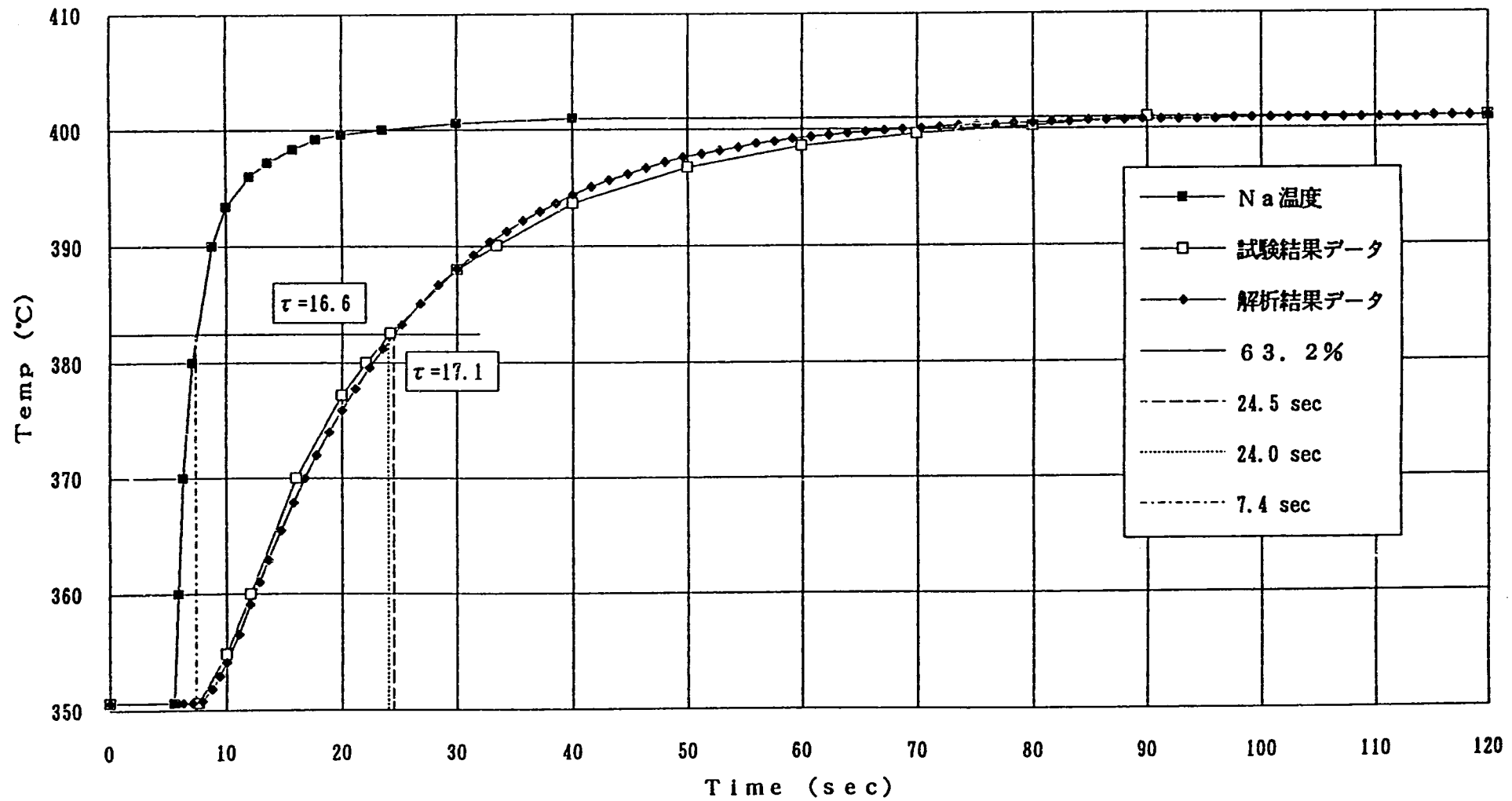


Fig.4(1) 2次系熱電対・TEST02-1 (HOT SHOCK)

TEST04-3、2次系熱電対

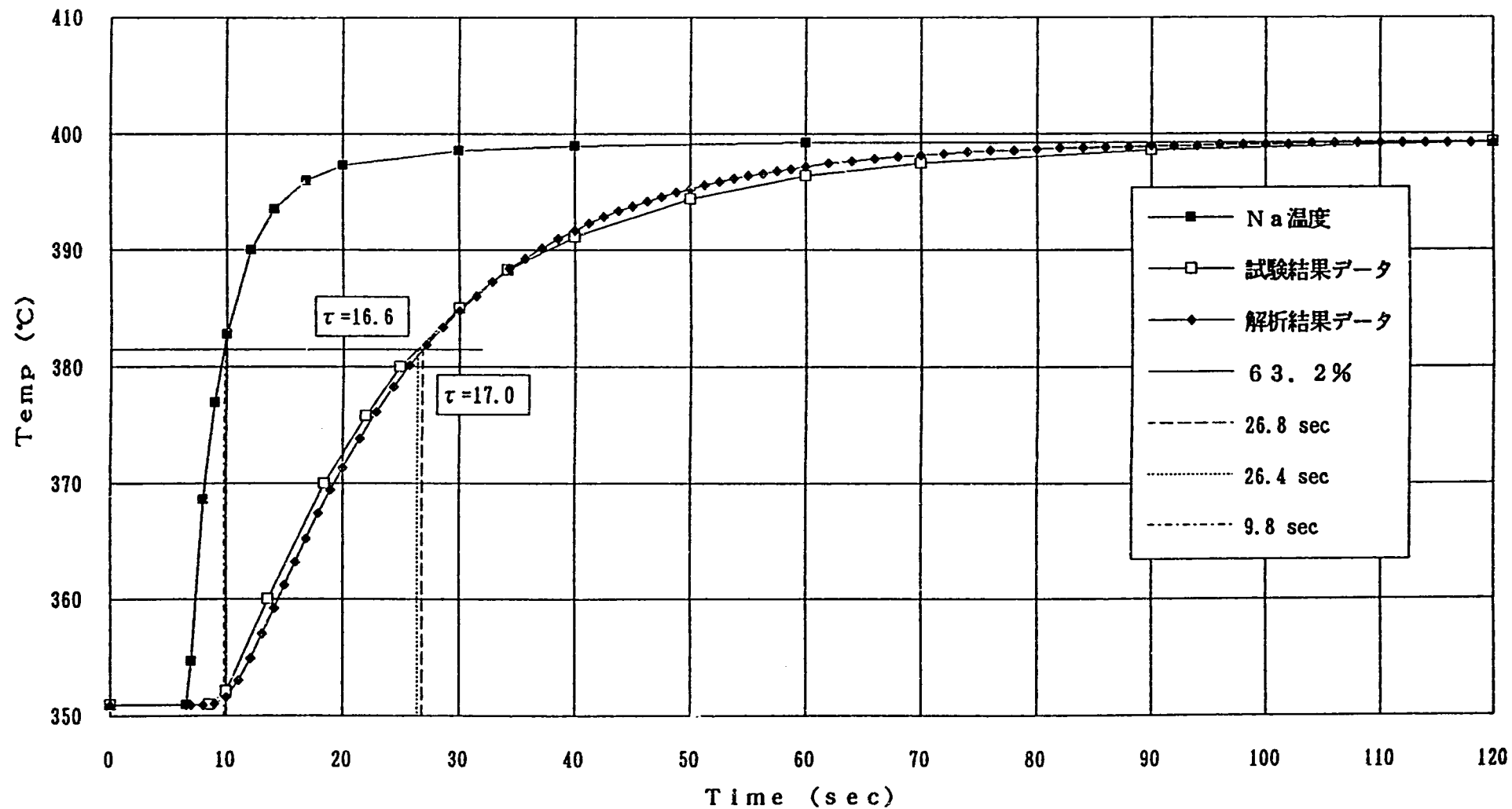


Fig.4(2) 2次系熱電対・TEST04-3 (HOT SHOCK)

TEST07-5、2次系熱電対

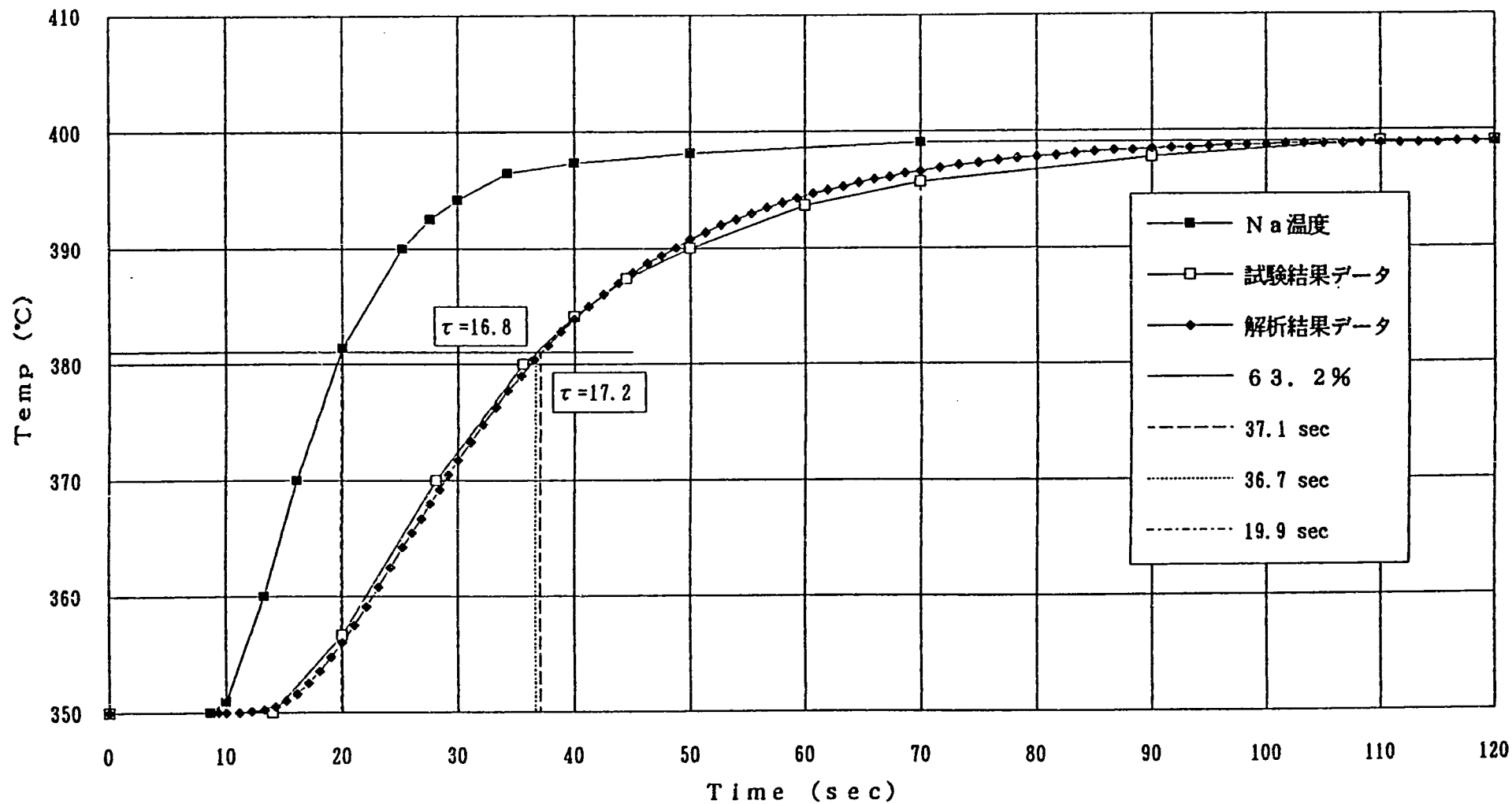


Fig.4(3) 2次系熱電対・TEST07-5 (HOT SHOCK)

TEST08-3、2次系熱電対

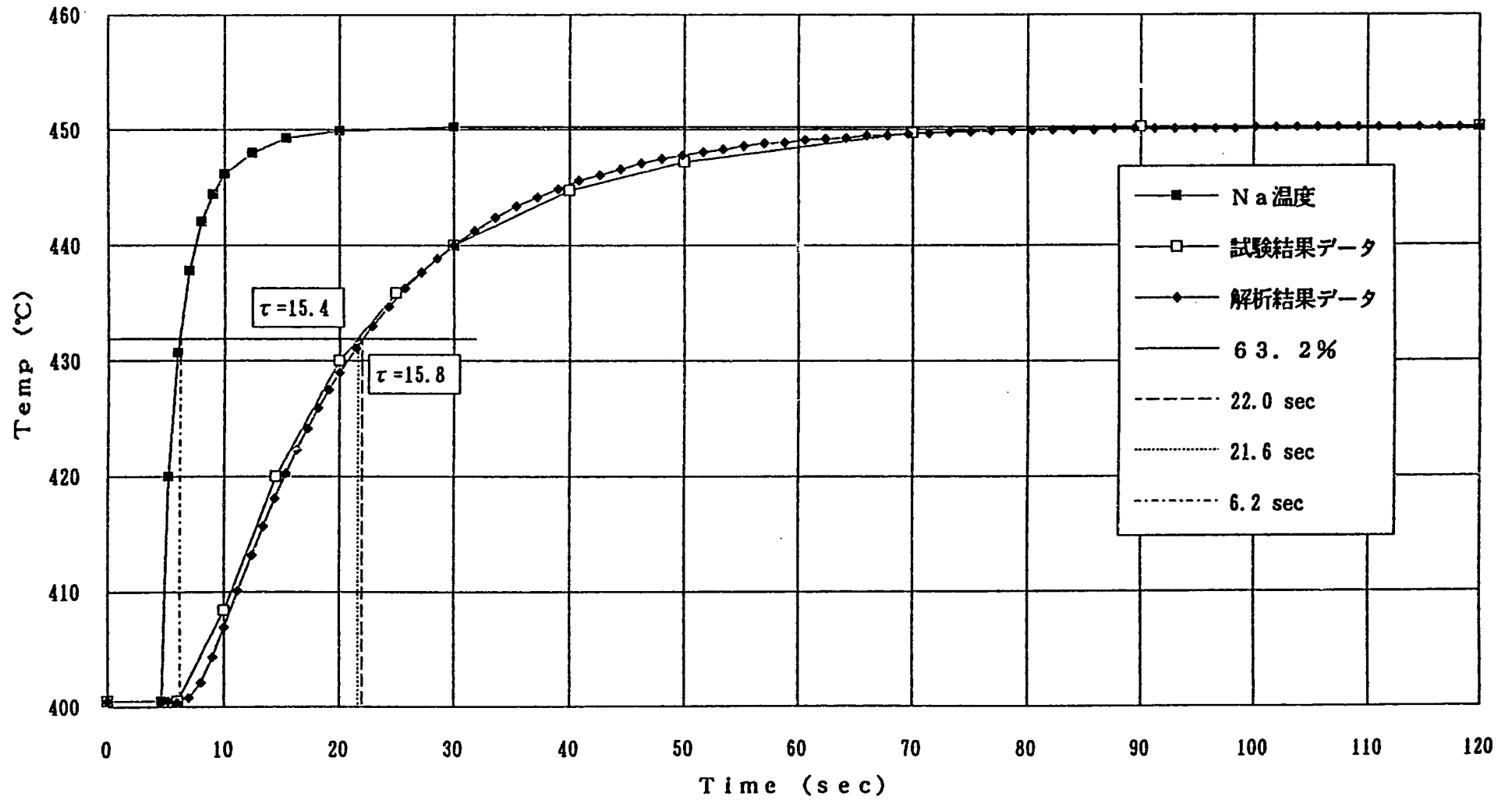


Fig.4(4) 2次系熱電対・TEST08-3 (HOT SHOCK)

TEST09-3、2次系熱電対

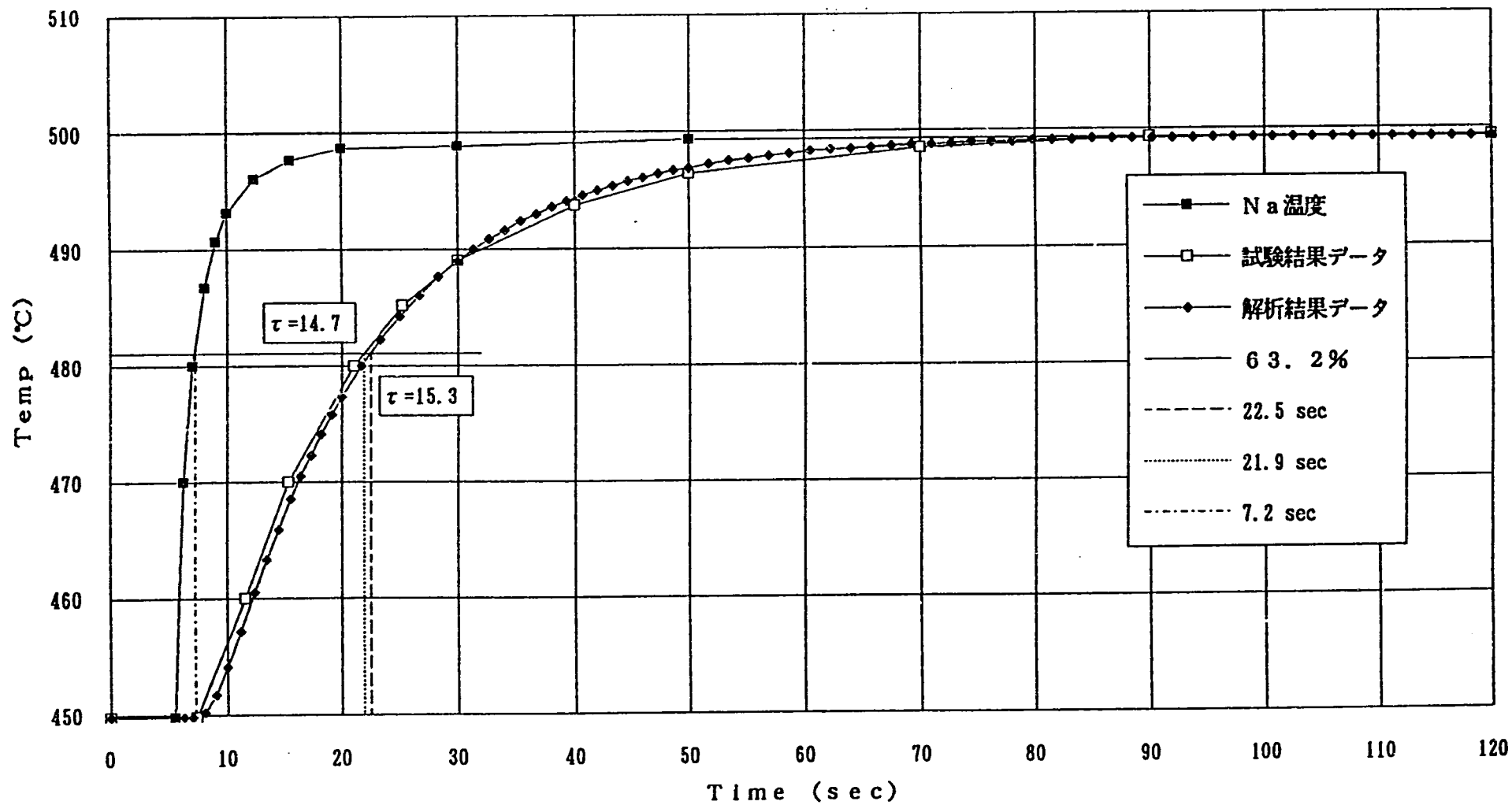


Fig.4(5) 2次系熱電対・TEST09-3 (HOT SHOCK)

TEST02-2、2次系熱電対

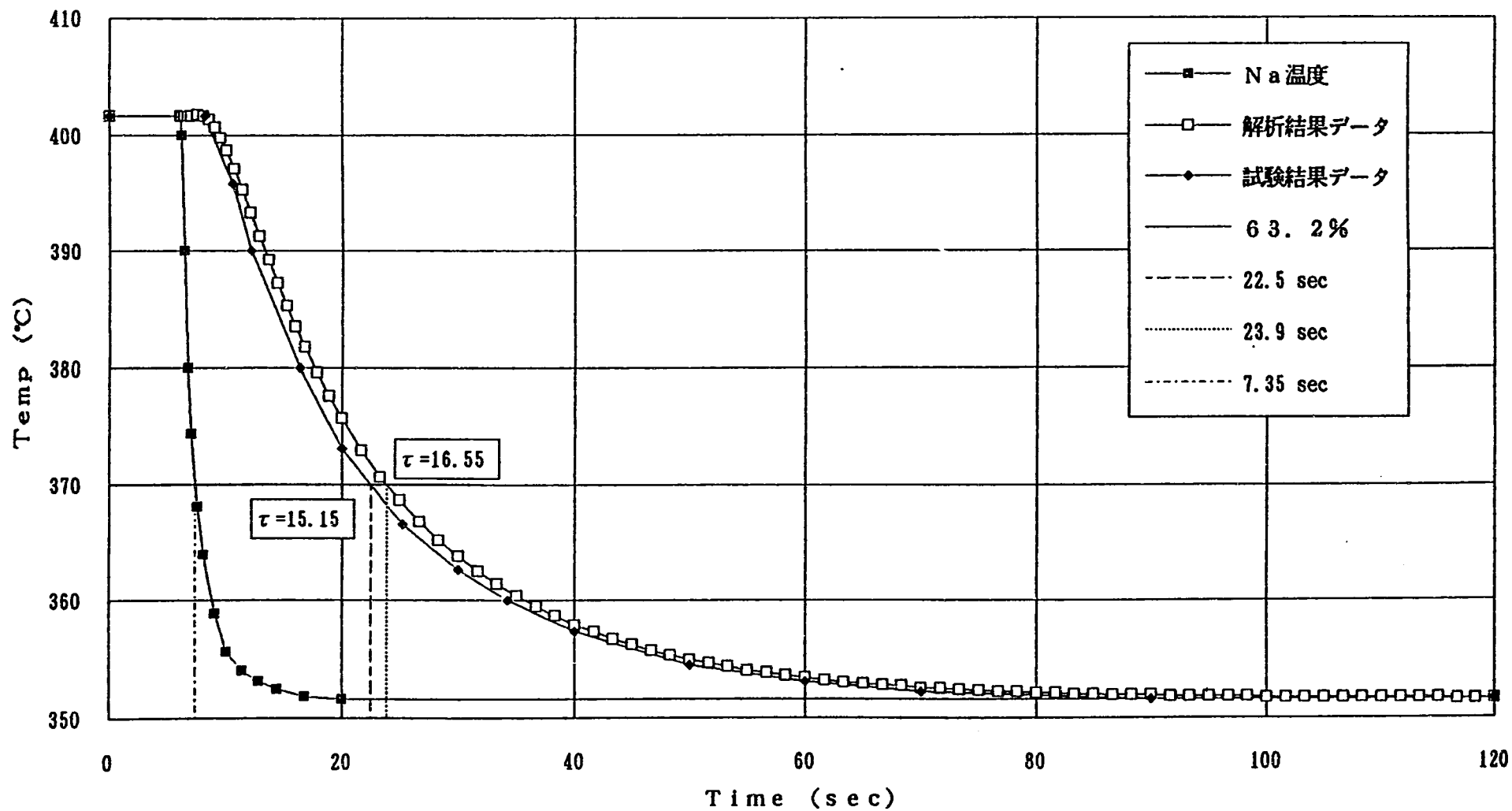


Fig.4(6) 2次系熱電対・TEST02-2 (COLD SHOCK)

TEST08-4、2次系熱電対

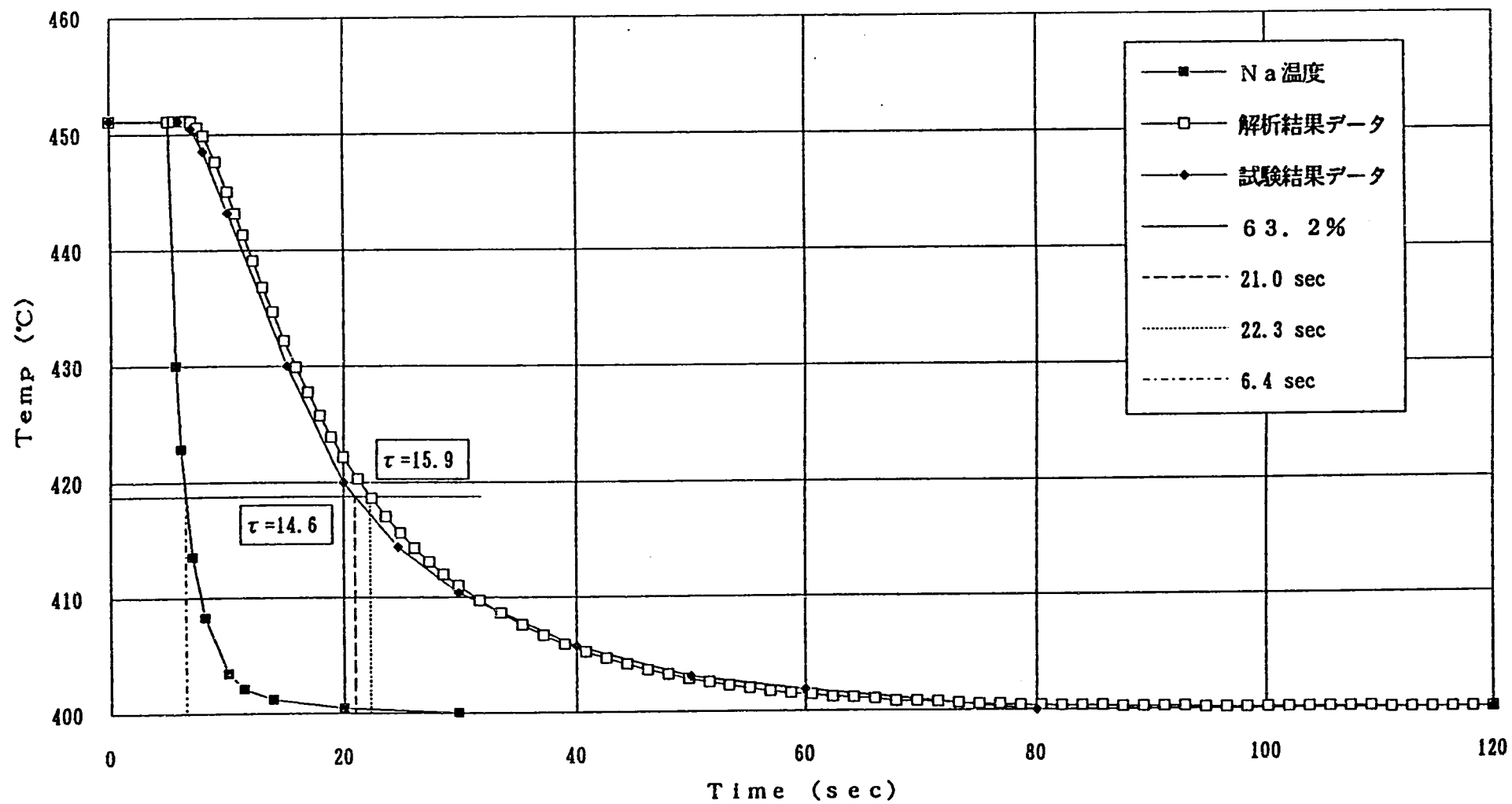


Fig.4(7) 2次系熱電対・TEST08-4 (COLD SHOCK)

TEST01-3、2次系熱電対

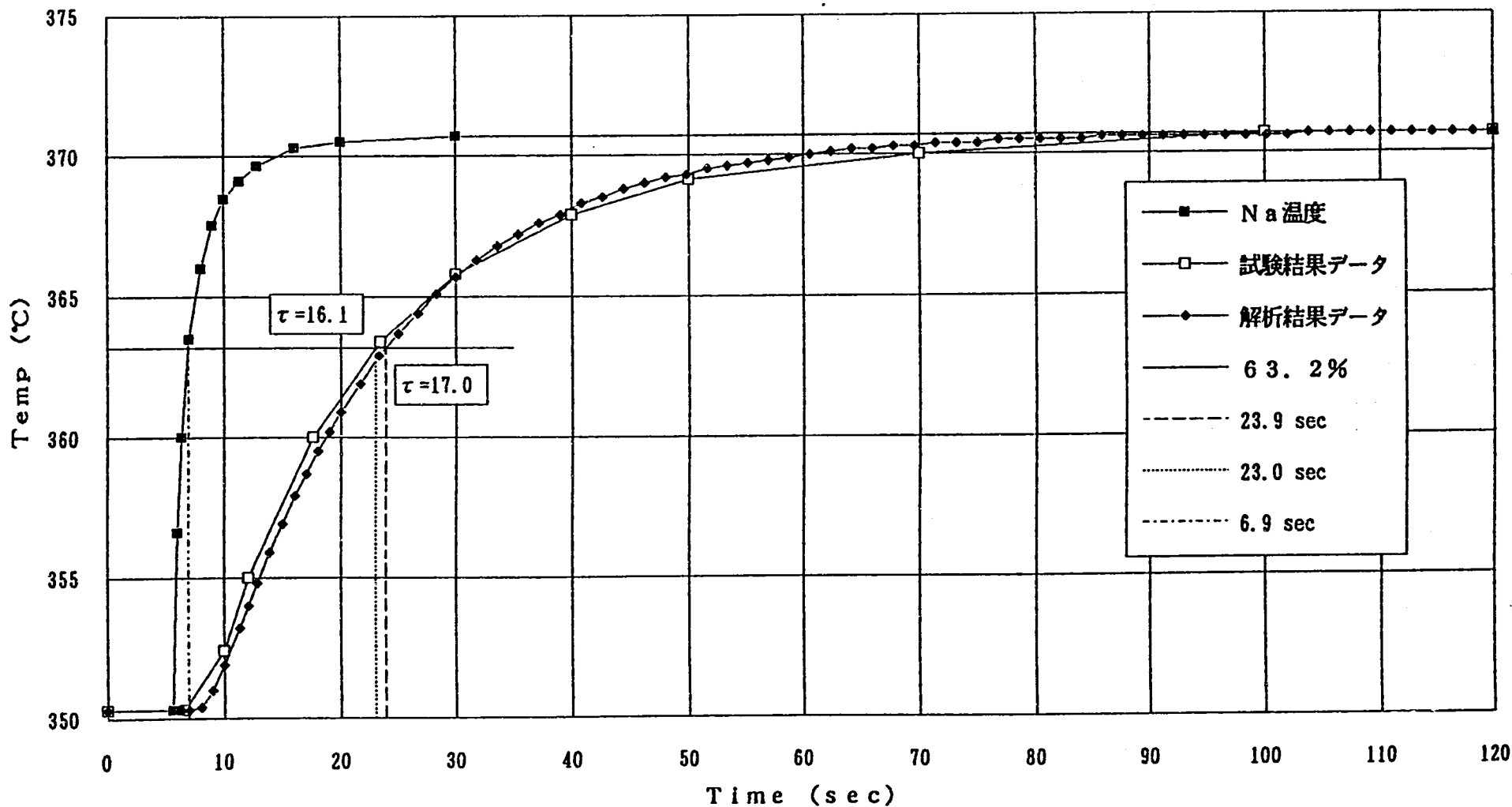


Fig.4(8) 2次系熱電対・TEST01-3 (HOT SHOCK)

TEST 15-3、2次系熱電対

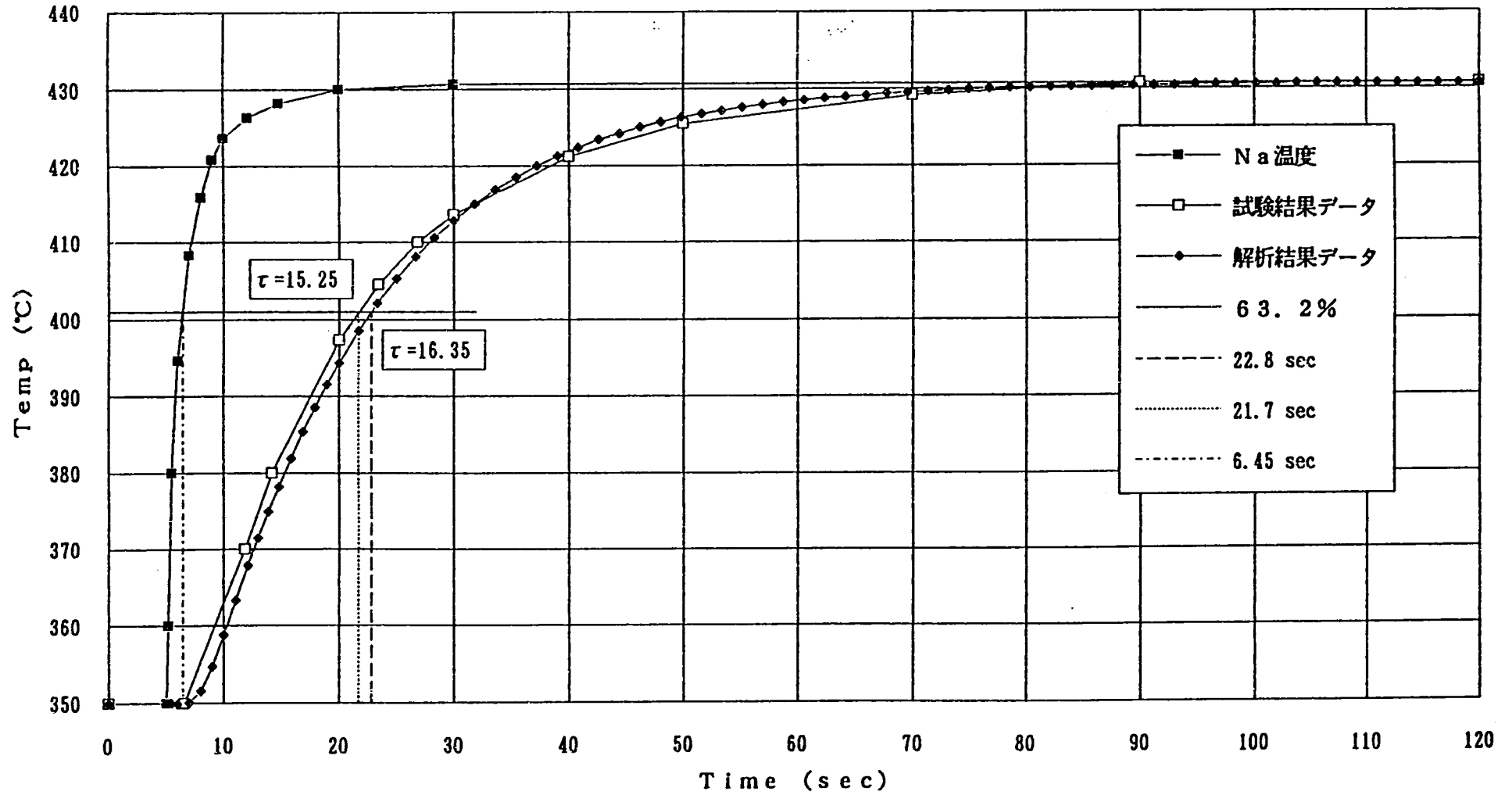


Fig.4(9) 2次系熱電対・TEST 15-3 (HOT SHOCK)

TEST 17-3、2次系熱電対

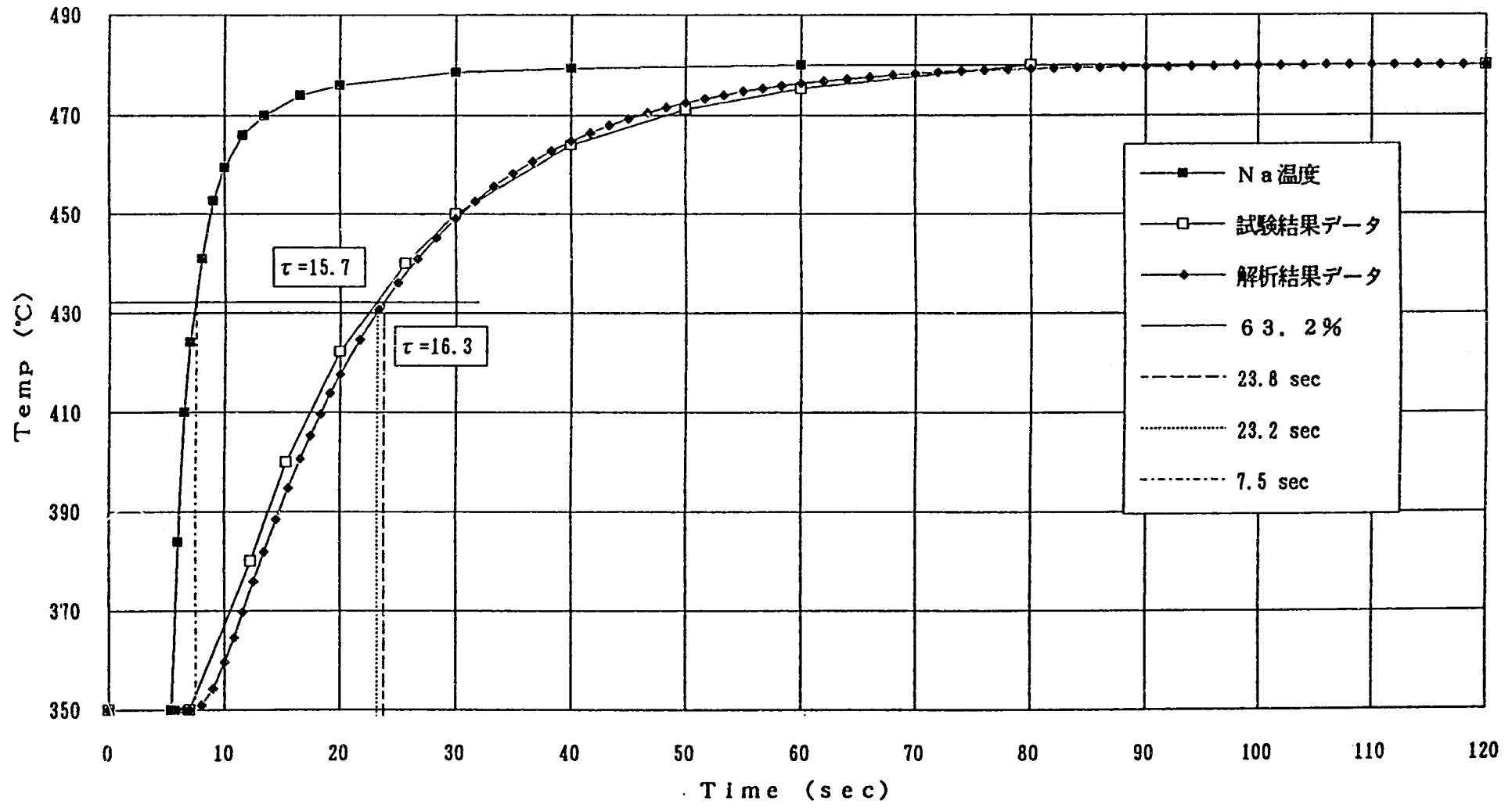


Fig.4(10) 2次系熱電対・TEST 17-3 (HOT SHOCK)