

JAERI-Tech
2004-019



JP0450286



硝酸溶液中硝酸ヒドラジンの安全性試験

2004年 3月

木田 孝・杉川 進

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2004

編集兼発行 日本原子力研究所

硝酸溶液中硝酸ヒドラジンの安全性試験

日本原子力研究所東海研究所安全試験部

木田 孝・杉川 進

(2004年1月29日受理)

再処理工程における硝酸ヒドラジンは、硝酸ヒドロキシルアミン (HAN) と同様に熱化学的に不安定な物質であることが知られている。このため、硝酸ヒドラジンの反応に関する基礎データを整備するために、圧力容器型反応熱量計等により硝酸ヒドラジンと硝酸の反応により発熱が開始する温度、発熱量、発熱開始温度に及ぼす不純物の影響、一定温度で長時間保持した場合の自己加速反応等を測定した。

本報告書は試験で得られた硝酸ヒドラジンと硝酸の反応基礎データ及び再処理工程における硝酸ヒドラジンの安全取扱条件の評価についてまとめたものである。

The Reaction of Hydrazine Nitrate with Nitric Acid

Takashi KIDA and Susumu SUGIKAWA

Department of Safety Research Technical Support

Tokai Research Establishment

Japan Atomic Energy Research Institute

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 29, 2004)

It is known that hydrazine nitrate used in nuclear fuel reprocessing plants is an unstable substance thermochemically like hydroxylamine nitrate. In order to take the basic data regarding the reaction of hydrazine nitrate with nitric acid, initiation temperatures and heats of this reaction, effect of impurity on initiation temperature and self-accelerating reaction when it holds at constant temperature for a long time were measured by the pressure vessel type reaction calorimeter etc.

In this paper, the experimental data and evaluation of the safe handling of hydrazine nitrate in nuclear fuel reprocessing plants are described.

Keywords : Hydrazine Nitrate, Nitric Acid, Initiation Temperature, Self-accelerating Reaction, Safe Handling

目 次

1. はじめに	1
2. 試験装置及び試験方法	2
2.1 反応熱量計	2
2.2 試験方法	2
3. 結果及び考察	3
3.1 硝酸ヒドラジン/硝酸混合溶液の発熱ピーク	3
3.2 発熱開始温度に及ぼす硝酸濃度の影響	3
3.3 発熱開始温度に及ぼす鉄イオンの影響	3
3.4 自己加速反応性	3
3.5 発熱量に及ぼす硝酸濃度等の影響	4
3.6 反応式の検討	4
3.7 硝酸ヒドラジンの安全取扱条件の評価	6
3.8 まとめ	6
謝辞	7
参考文献	7
付録A	17

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental	2
2.1 Apparatus	2
2.2 Procedures	2
3. Results and Analysis	3
3.1 Exothermic Peak of Hydrazine Nitrate/Nitric Acid Solution	3
3.2 Effect of Nitric Acid Concentration on Initiation Temperature	3
3.3 Effect of Iron on Initiation Temperature	3
3.4 Self-accelerating Reaction	3
3.5 Effect of Nitric Acid Concentration, <i>etc.</i> on Heat of Reaction	4
3.6 Discussion of Net Reaction	4
3.7 Evaluation of Safe Handling Condition of Hydrazine Nitrate	6
3.8 Summary	6
Acknowledgement	7
References	7
Appendix A	17

This is a blank page.

1. はじめに

再処理工程における硝酸ヒドラジン ($\text{H}_4\text{N}_2\text{HNO}_3$) は、プルトニウム精製工程のプルトニウム還元剤である硝酸ヒドロキシルアミン (HAN) の安定剤として、またウラン精製工程のネプツニウム還元剤として使用される。硝酸ヒドラジンは、消防法により危険物第五類 (自己反応性物質) に分類されており、硝酸ヒドラジン溶液が乾燥し結晶体になると爆発性物質になるという報告があるが、詳細は不明である¹⁾。硝酸溶液中の硝酸ヒドラジンについては、HAN と同様に、硝酸と反応を起こすことが知られているが²⁾、その文献は極めて少ない。サバンナ・リバー研究所の Karraker は、硝酸ヒドラジンと硝酸の反応機構及び反応速度式を報告した。また、この反応が鉄触媒で促進されることを示した³⁾。この鉄不純物は、ステンレス製機器の腐食生成物であり、再処理施設における試薬供給系及び精製工程において、混入する可能性がある。しかし、これらの反応データだけでは、硝酸溶液中の硝酸ヒドラジンの安全取扱条件を評価することは出来ないため、硝酸溶液中の硝酸ヒドラジンの安全取扱いに関する基礎データを整備することにした。本試験では圧力容器型反応熱量計を用いて、種々なパラメーターのもとでの硝酸溶液中の硝酸ヒドラジンの反応により発熱が開始する温度及び発熱量を測定するとともに、発熱開始温度に及ぼす鉄不純物の影響及び一定温度で長時間保持した場合の自己加速反応等を調べ、再処理工程における硝酸ヒドラジンの安全取扱条件について評価した。

2. 試験装置及び試験方法

2.1 反応熱量計

圧力容器型反応熱量計は、スイス SYSTAG 社製の RADEX·solo 反応熱量計を用いた。この反応熱量計の特徴は、(1) 示差走査熱量測定 (DSC) や示差熱分析 (DTA) とは異なり、基準物質を用いずに、ヒーターによって直接的に加熱されるジャケットの温度と試料温度を測定し、反応によって生じる温度の差 ΔT を求める一種の DTA である。あらかじめブランクテストを行い、試料測定の際に、そのデータをベースラインとして用いる。(2) RADEX の発熱温度の検出感度は 0.05°C であり、DSC/DTA と ARC の中間である。(3) 試料温度は、一定昇温速度 ($0.1\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$) で 400°C まで加熱することができる。また、一定温度で長時間保持することも可能である。(4) DSC 及び DTA と比較して数百倍 (数 ml オーダー) の試料を用いた測定が可能のため、サンプリング誤差の低減化、不均一試料の測定、試料の熱変化が小さいものの測定する場合に有利である。また、試料中の不純物が触媒効果を持つ場合や、分解生成物が自触作用を持つ場合においても、再現性が得られやすい。(5) 温度変化と同時に圧力変化 (最大 70 気圧程度) の測定を行なうことが可能である。

この反応熱量計は Fig.2.1 に示すように、密閉式圧力容器、ヒーター、ジャケット、試料温度検出器、ジャケット温度検出器、圧力検出器及びデータ処理用パーソナルコンピューターから構成されている。密閉式圧力容器の体積は 7ml であり、今回の試験では、ステンレス製 (SUS304) を用い、蓋のシールにバイトン製の O リングを用いた。

2.2 試験方法

試験の操作手順は次のとおりである。試薬として、 13.14 mol/l (M)硝酸及び 1M 硝酸ヒドラジン水溶液を用いて、所定の濃度に調製した硝酸ヒドラジン/硝酸混合溶液を約 2ml 分取・秤量し、圧力容器に投入する。次に、圧力容器に O リングと蓋を取り付けて密閉し、圧力検出器を接続する。圧力容器を反応熱量計内に設置し、ジャケット温度及び試料温度が室温付近で安定したことを確認して昇温を開始する。以下に各試験の方法を示す。また、試験項目及び条件を Table2.1 に示す。

(1)昇温試験

ジャケット温度及び試料温度を 30°C で安定させた後、 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の一定速度で $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ まで昇温させた。このときの ΔT 及び圧力の測定を行なった。

(2)一定温度保持試験

昇温試験と同じく、ジャケット温度及び試料温度を 30°C で安定させた後、昇温試験で確認した各条件下における発熱開始温度よりも若干低い温度まで $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の一定速度で昇温した。その後、約 80 時間一定温度で保持し、その時の ΔT 及び圧力の測定を行なった。

(3)発生ガス及び試料溶液の分析

上述の昇温試験を行い、 100°C 及び 200°C まで昇温したときの、反応による発生ガス量の積算値及び組成を確認した。この発生ガス量は、理想気体と仮定して、試験前後の圧力差により

算出した。発生ガスの組成の確認は、サンプリングラインから、シリンジを用いて圧力容器内の空間部のガスを採取しガスクロマト分析を行なった。また、反応後の試料溶液中の硝酸ヒドラジン濃度及び硝酸濃度をアルカリ滴定法により分析した。

3. 結果及び考察

3.1 硝酸ヒドラジン/硝酸混合溶液の発熱ピーク

硝酸ヒドラジン/硝酸混合溶液を昇温させると、Fig.3.1 に示すように発熱ピークが、第1ピークとして100～150℃付近に、第2ピークとして180～220℃付近に現れる。また、硝酸ヒドラジンのみの溶液を試料として昇温させた場合は、Fig.3.2 に示すように、180～220℃付近にピークが1つだけ現れる。このことから、第1ピークは硝酸ヒドラジンと硝酸の反応で生じるピークであり、第2ピークは硝酸ヒドラジンの熱分解（硝酸ヒドラジンを空气中で加熱すると、約180℃でアンモニア、窒素及び水素を発生して分解することが報告されている⁴⁾。）による発熱によるものであると考えられる。このことから、これ以降の試験では第1ピークにのみ注目することにした。

3.2 発熱開始温度に及ぼす硝酸濃度の影響

硝酸濃度を1.5Mから8Mまで変えて昇温試験を行なった時の、発熱開始温度をFig.3.3に示す。その結果、発熱開始温度は硝酸濃度1.5Mで110～125℃が8M硝酸で67℃程度まで低下した。また、硝酸ヒドラジン濃度（0.3～0.85M）の影響は特にみられなかった。

3.3 発熱開始温度に及ぼす鉄イオンの影響

鉄イオンは、硝酸ヒドラジンと硝酸の反応温度を低下させる触媒効果があることが知られている³⁾。このため、発熱開始温度に及ぼす鉄イオン濃度の影響を調べた。その結果、Fig.3.4に示すように、硝酸濃度1.5Mでは、鉄イオン濃度を0.5g/lから5.0g/lに増やして昇温試験を行った結果、発熱開始温度が130℃から82℃まで低下した。同様に、硝酸濃度5Mでは、75℃から57℃と温度低下の中が狭まり、硝酸濃度8Mでは、75℃から57℃とさらに温度低下の中が狭まった。硝酸濃度が高くなると、硝酸濃度の影響が鉄イオンの影響よりも支配的になることを意味すると考えられる。

3.4 自己加速反応性

HANと硝酸の混合溶液は、HANと硝酸が徐々に反応することにより、反応生成物である硝酸が長時間かけて蓄積し、その結果として、HANと硝酸の急激な反応領域に入り反応を起こす¹⁾。硝酸ヒドラジンについても同様な自己加速的な反応が生じるか否かを確認した。Fig.3.5は硝酸濃度3M、硝酸ヒドラジン濃度0.3M及び鉄イオン濃度0.5g/lの溶液条件において、発熱開始温度より若干低い86℃で約80時間保持したが、温度及び圧力の上昇は見られなかった。また、Fig.3.6は硝酸濃度1.5M、硝酸ヒドラジン濃度0.77M及び鉄イオン濃度0.5g/lの溶液条件において、発

熱開始温度より若干低い90℃で約80時間保持したが、これも温度及び圧力の上昇は見られなかった。以上の結果から、硝酸濃度1.5～3M、硝酸ヒドラジン0.3～0.77Mにおいては、発熱開始温度以下で保持することにより、硝酸ヒドラジンと硝酸の反応では、自己加速的な反応が生じることがないことが判明した。

3.5 発熱量に及ぼす硝酸濃度等の影響

硝酸濃度、硝酸ヒドラジン濃度及び鉄イオン濃度を変えて昇温試験を行なったときの、初期硝酸ヒドラジン1molあたりの発熱量をFig.3.7に示す。その結果、硝酸濃度が高くなる程、初期硝酸ヒドラジン1molあたりの発熱量が大きくなる傾向を示した。これは、硝酸濃度が高いほど、第1ピークにおいて、より多くの硝酸ヒドラジンが反応していることを意味すると考えられる。なお、硝酸ヒドラジン濃度及び鉄イオン濃度の変化による影響について、一定の傾向はみられなかった。よって、この反応による発熱量を、硝酸ヒドラジン濃度及び鉄イオン濃度には依存しないものとして硝酸濃度の関数で表した。硝酸濃度1.5～8M、硝酸ヒドラジン0.3～0.85M、鉄イオン濃度0.5～5.0g/l、昇温速度0.5℃/minにおいて、この反応による発熱量は以下のように表すことができた。

$$Q = 35 \times [\text{HNO}_3] + 108$$

Q : 初期硝酸ヒドラジン1molあたりの発熱量 (kJ/mol)

[HNO₃] : 初期硝酸濃度 (M)

3.6 反応式の検討

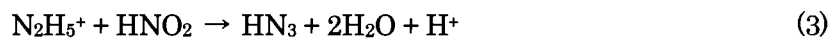
Karraker³⁾によって報告されている100℃での5.44M硝酸中における硝酸ヒドラジンとのネットの反応式は、(1)式で示されるように、HN₃ (アジ化水素)、NH₄NO₃、N₂、N₂O、H₂Oが反応生成物である。



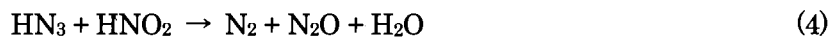
この反応機構として、以下の式を推定している。



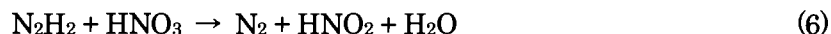
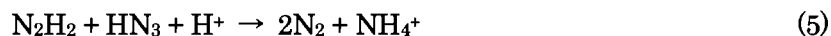
ここで、生成するHNO₂ (亜硝酸)はN₂H₅⁺と速く反応し、HN₃ (アジ化水素)を生じる。



このHN₃はHNO₂と以下のように反応することが考えられる。



また、N₂H₂はHN₃もしくはHNO₃との反応で分解する。



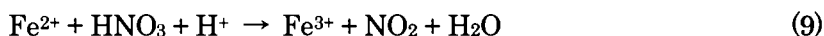
また、80℃での2.93M硝酸溶液中における硝酸ヒドラジンとの鉄触媒反応のネットの反応式は、(7)式を示した。



この反応機構として、以下の式を推定している。まず、Fe³⁺によってN₂H₅⁺が酸化される。

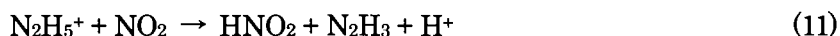
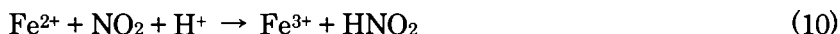


Fe²⁺は硝酸によって酸化されてFe³⁺に戻る。



ここで、(8)式の反応は速いが、(9)式の反応は(8)式の反応よりも遅いことが知られている。

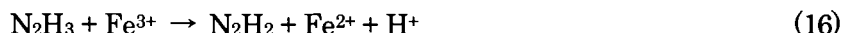
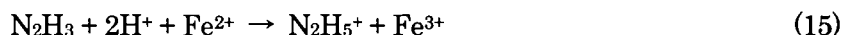
NO₂は、Fe²⁺もしくはN₂H₅⁺によって、非常に速くHNO₂に還元される。



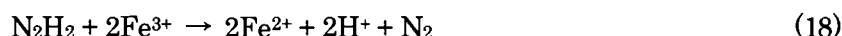
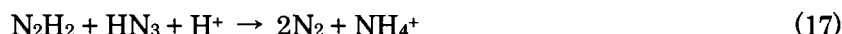
HNO₂は、N₂H₅⁺もしくはHN₃と非常に速く反応する。



また、N₂H₃は以下のように反応する。



N₂H₂は、以下のように反応する。



以上により、中間生成物としてNO₂、HNO₂、N₂H₃、N₂H₂、が生成され、最終的には、N₂、N₂O、NH₄⁺、HN₃が生成する。

この鉄触媒反応式を確認するために、反応によって発生したガス及び溶液の分析を行ない、初期に投入した硝酸ヒドラジン 1mol あたりの全発生ガス量、N₂量及びN₂O量を求めた。

100℃付近まで昇温したときの発生ガスの分析結果を Fig.3.8 に示す。なお、100℃付近では、第1ピークの途中である。その結果、硝酸濃度が高くなる程、全発生ガス量、N₂量及びN₂O量は多くなる傾向を示した。また、Karraker の 80℃、2.93M 硝酸の条件での反応式と比較すると、全ガス量が(7)式の 2.45mol に対して、本結果が 0.75~0.85mol であり、N₂が(7)式の 0.56mol に対して、本結果が 0.4~0.49mol であり、N₂O が(7)式の 0.24mol に対して、本結果が 0.1~0.12mol と全て低い値となった。この違いについては、Table 3.1 に示す溶液の分析結果によると、硝酸ヒドラジンが完全に反応していないことによるものと考えられる。

また、200℃付近まで昇温したときの発生ガスの分析結果を Fig.3.9 に示す。200℃付近では、第2ピークが終了している。その結果、100℃の時点と同様に、硝酸濃度が高くなる程、全発生ガス量、N₂量及びN₂O量は多くなる傾向を示している。3M 硝酸においては、全発生ガス量が 1.6~1.9mol、N₂が 0.75~1.2mol、N₂O が 0.1~0.25mol と 100℃の時点よりも倍近く増加している。これは Table 3.1 に示す溶液の分析結果に示すように、全ての硝酸ヒドラジンが反応または分解したことによるものと考えられる。また、全ての硝酸ヒドラジンが反応または分解したことによるにもかかわらず反応ガス量が硝酸濃度によって異なることは、硝酸濃度の違いによって反応式が異なるのかも知れない。硝酸濃度 3~8M、硝酸ヒドラジン 0.3~0.6M、鉄イオン濃度 0.5g/l において、硝酸ヒドラジン 1mol あたりの全発生ガス量は次式で示される。

$$\text{全発生ガス量(mol)} = 0.48 [\text{HNO}_3] + 0.35$$

3.7 硝酸ヒドラジンの安全取扱条件の評価

硝酸ヒドラジンと硝酸の混合溶液における安全取扱い条件を評価するため、本試験で得られた全ての発熱開始温度のデータをプロットした結果を Fig.3.10 に示す。これらをもとに、再処理施設における硝酸ヒドラジンを取り扱うプロセスで反応が生じる可能性を評価した。試薬供給系及び精製工程では、硝酸濃度が 1.0M 以下、温度が室温～40℃程度であり、非反応領域内であるので、反応が生じることはない。また、酸回収工程では、硝酸濃度が 7.0～8.0M 程度、温度が室温～65℃程度であるため、反応領域に入る可能性がある。しかし、酸回収工程に入る硝酸ヒドラジン濃度は 0.005M 以下と推定されるため、仮に反応が生じても、発熱量及び発生ガス量は非常に小さく、安全に取扱うことに問題はないと考えられる。以上により、再処理施設では、硝酸ヒドラジンを安全に取扱うことができることを確認した。

3.8 まとめ

硝酸ヒドラジンと硝酸の反応に関する基礎データを整備するとともに、再処理工程における硝酸ヒドラジンの安全取扱い条件を評価することを目的として、反応熱量計により硝酸ヒドラジンと硝酸の発熱開始温度、発熱量及び自己加速反応等を測定した。その結果、以下の事項が明らかになった。

- ・ 硝酸ヒドラジンと硝酸の反応は、硝酸濃度が高いほど発熱開始温度が低下する傾向を示した。
- ・ この反応は不純物として鉄イオンを含むと触媒効果により発熱開始温度が低下する傾向を示した。
- ・ この反応では、自己加速的な反応は認められなかった。(硝酸濃度：1.5～3M、硝酸ヒドラジン：0.3～0.77M、鉄イオン濃度：0.5g/l)
- ・ この反応の発熱量は、以下の式で表すことができた。(硝酸濃度：1.5～8M、硝酸ヒドラジン：0.3～0.85M、鉄イオン濃度：0.5～5.0g/l)

$$Q = 35 \times [\text{HNO}_3] + 108$$

Q : 初期硝酸ヒドラジン 1mol あたりの発熱量 (kJ/mol)

[HNO₃] : 初期硝酸濃度 (M)

- ・ この反応による発生ガス量の積算値、N₂量及び N₂O 量は、硝酸濃度が高いほど、増加する傾向を示した。発生ガス量の積算値は、以下の式で表すことができた。(硝酸濃度：3～8M、硝酸ヒドラジン：0.3～0.6M、鉄イオン濃度：0.5g/l)

$$\text{全発生ガス量(mol)} = 0.48 [\text{HNO}_3] + 0.35$$

- ・ 再処理工程での条件で、硝酸ヒドラジンを安全に取扱うことができることを確認した。

謝辞

本報告書を作成するに当たって適切なコメントを頂いた燃料サイクル安全工学部プロセス安全研究室阿部仁氏及び反応熱量計による測定をしていただいた関野純一氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) MSDS (HYDRAZINE NITRATE SOLUTION), HUMMEL CROTON INC.
- 2) S.Sugikawa, M.Umeda, J.Sekino, T.Matsuda, T.Kodama : "Evaluation of safety limit for handling of hydroxylamine nitrate/nitric acid solution as a plutonium reductant" , JAERI-Conf 2002-004, 475-480 (2002).
- 3) D.G.Karraker : "Oxidation of hydrazine by nitric acid" , Inorganic Chemistry, Vol.24, 4470-4477 (1985)
- 4) 化学大辞典編集委員会編, 化学大辞典 7 卷,

Table2.1 試験項目及び条件

試験項目	条件等
①発熱開始温度に及ぼす 硝酸濃度の影響 (昇温試験)	硝酸濃度(M) : 1.5~8.0 硝酸ヒドラジン濃度(M) : 0.3~0.85
②発熱開始温度に及ぼす 鉄イオン濃度の影響 (昇温試験)	硝酸濃度(M) : 1.5~8.0 硝酸ヒドラジン濃度(M) : 0.3 鉄イオン濃度(g/l) : 0.5~5.0
③発熱量に及ぼす硝酸濃度、 硝酸ヒドラジン濃度、 鉄イオン濃度の影響 (昇温試験)	硝酸濃度(M) : 1.5~8.0 硝酸ヒドラジン濃度(M) : 0.3~0.85 鉄イオン濃度(g/l) : 0.5~5.0
④自己加速反応性 (一定温度保持試験)	90℃一定 硝酸(M) : 3.0 硝酸ヒドラジン(M) : 0.77 鉄イオン濃度(g/l) : 0.5 86℃一定 硝酸(M) : 3.0 硝酸ヒドラジン(M) : 0.3 鉄イオン濃度(g/l) : 0.5
⑤反応式の評価 (発生ガス及び試料溶液の分析)	硝酸濃度(M) : 3.0~8.0 硝酸ヒドラジン濃度(M) : 0.3~0.6 鉄イオン濃度(g/l) : 0.5

Table3.1 昇温試験中の溶液濃度

試験条件				試験後の溶液濃度	
N_2H_5^+ (M)	HNO_3 (M)	Fe (g/l)	T(°C)	N_2H_5^+ (M)	HNO_3 (M)
0.3	3.2	0.5	112	—	3.2
0.3	5.2	0.5	99	0.2	5.3
0.3	8.3	0.5	91	0.1	8.1
0.6	3.1	0.5	110	0.4	3.1
0.6	5.2	0.5	100	0.4	5.1
0.3	3.2	0.5	200	<0.05	2.7
0.3	5.2	0.5	200	<0.05	4.3
0.3	8.3	0.5	200	<0.05	6.3
0.6	3.1	0.5	200	<0.05	2.7
0.6	5.2	0.5	200	<0.05	4.1

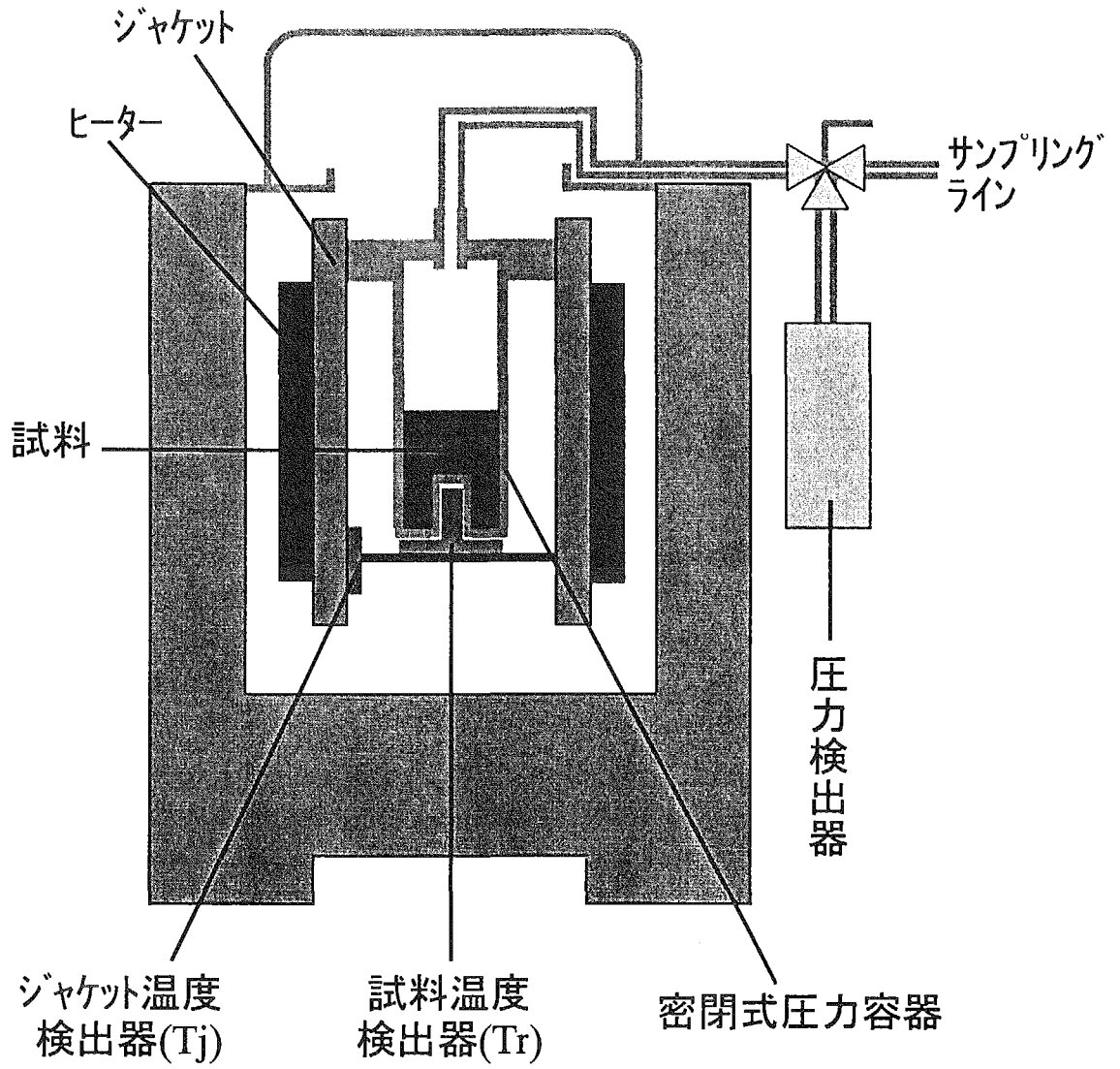


Fig.2.1 RADEX-solo 反応熱量計装置概略図

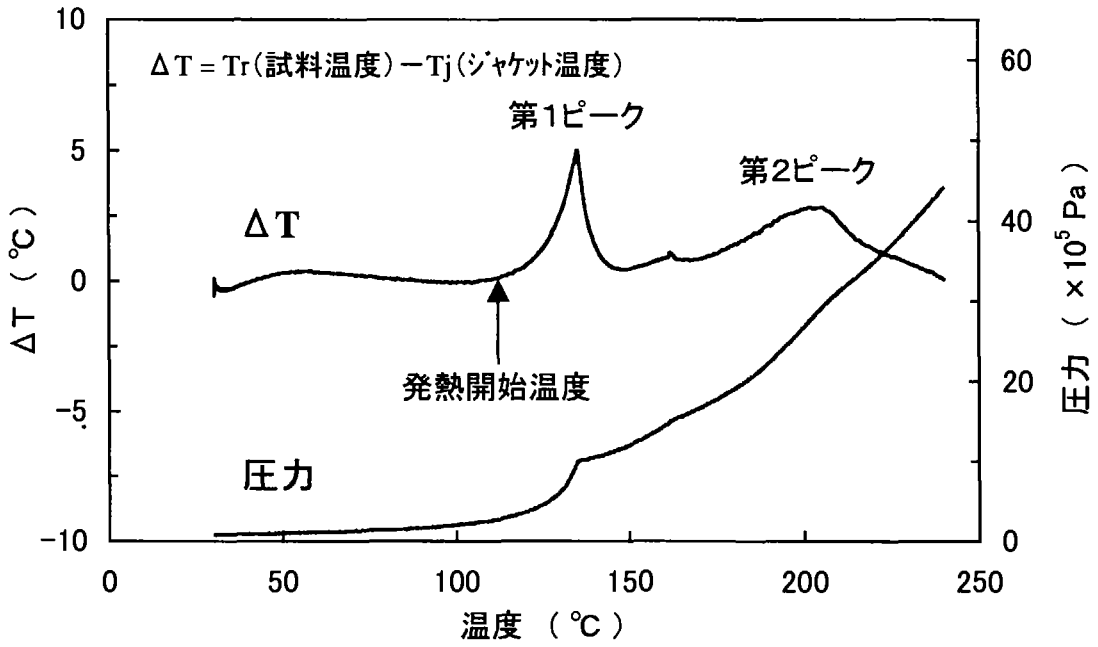


Fig.3.1 昇温試験の測定結果例
 (硝酸ヒドラジン濃度：0.77 M、硝酸濃度：1.5 M、Fe濃度：1.0g/ℓ)

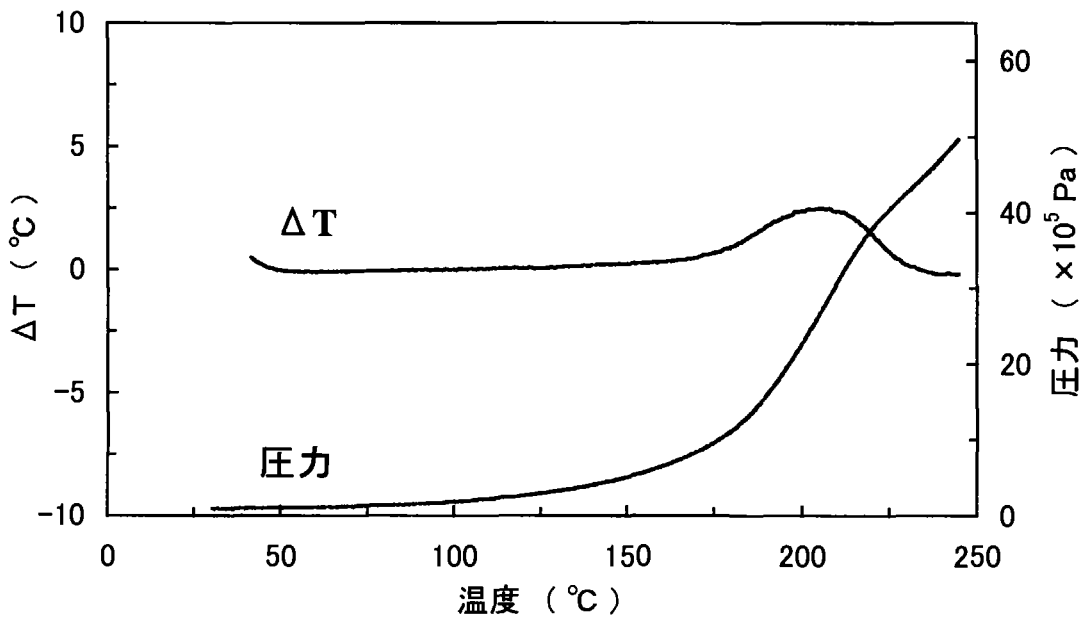


Fig.3.2 昇温試験の測定結果例
 (硝酸ヒドラジン濃度：1.0 M)

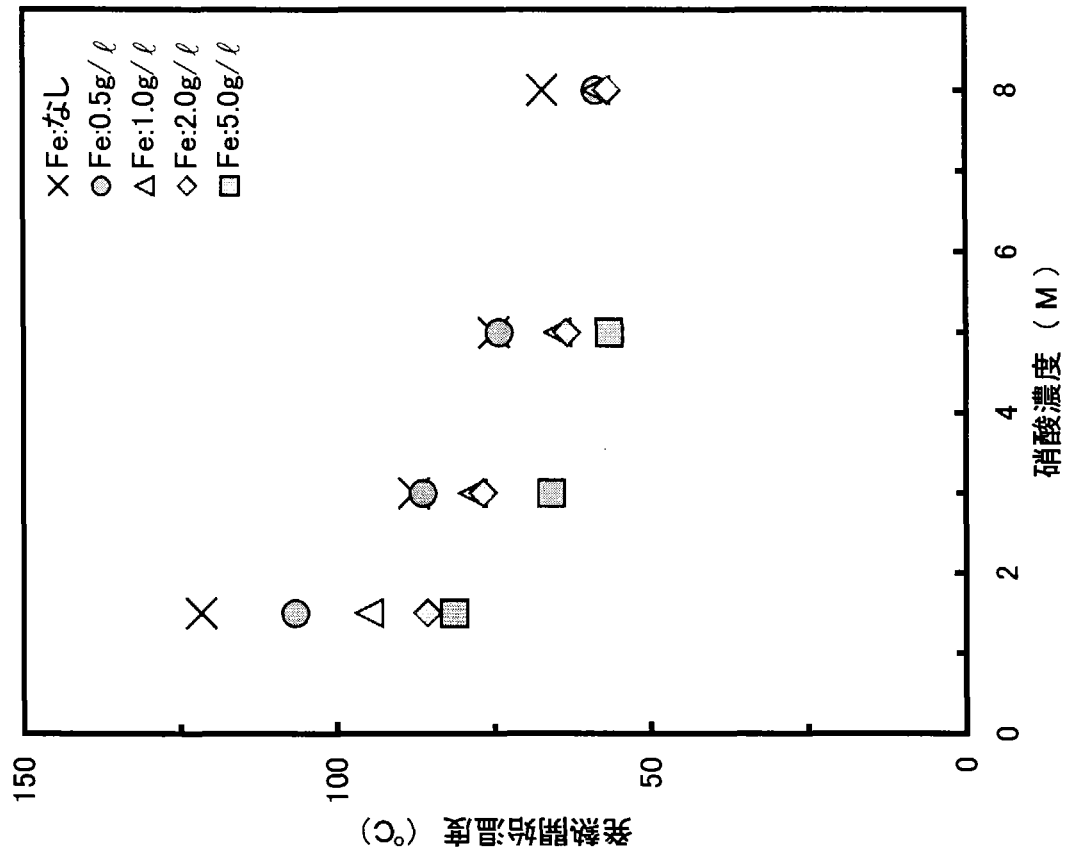


Fig.3.4 発熱開始温度に及ぼす鉄イオン濃度の影響

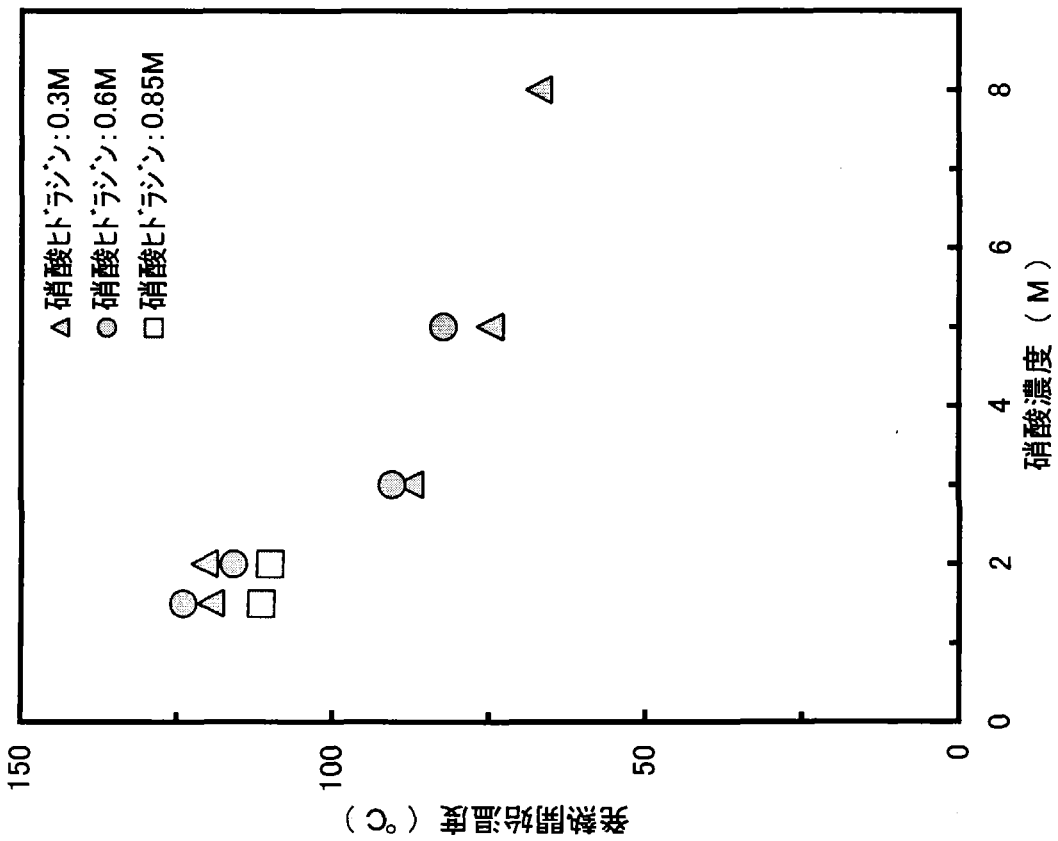


Fig.3.3 発熱開始温度に及ぼす硝酸濃度の影響

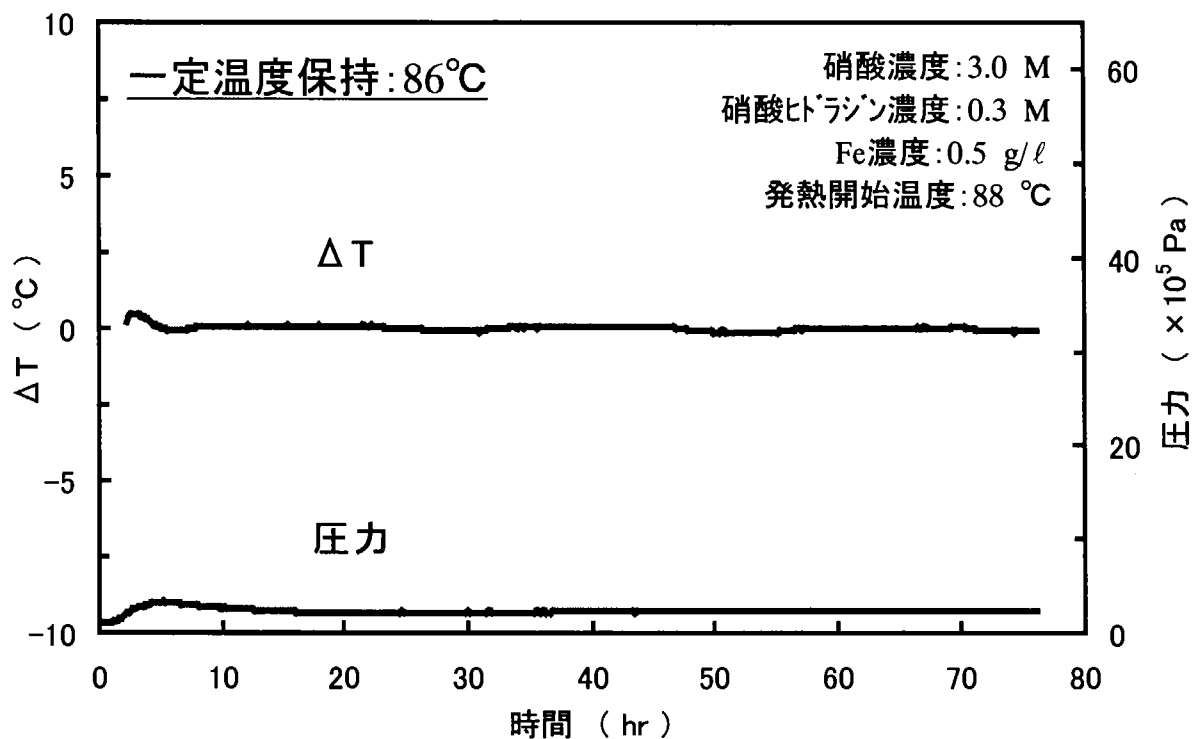


Fig.3.5 一定温度で長時間保持したときの自己加速反応性 (1)

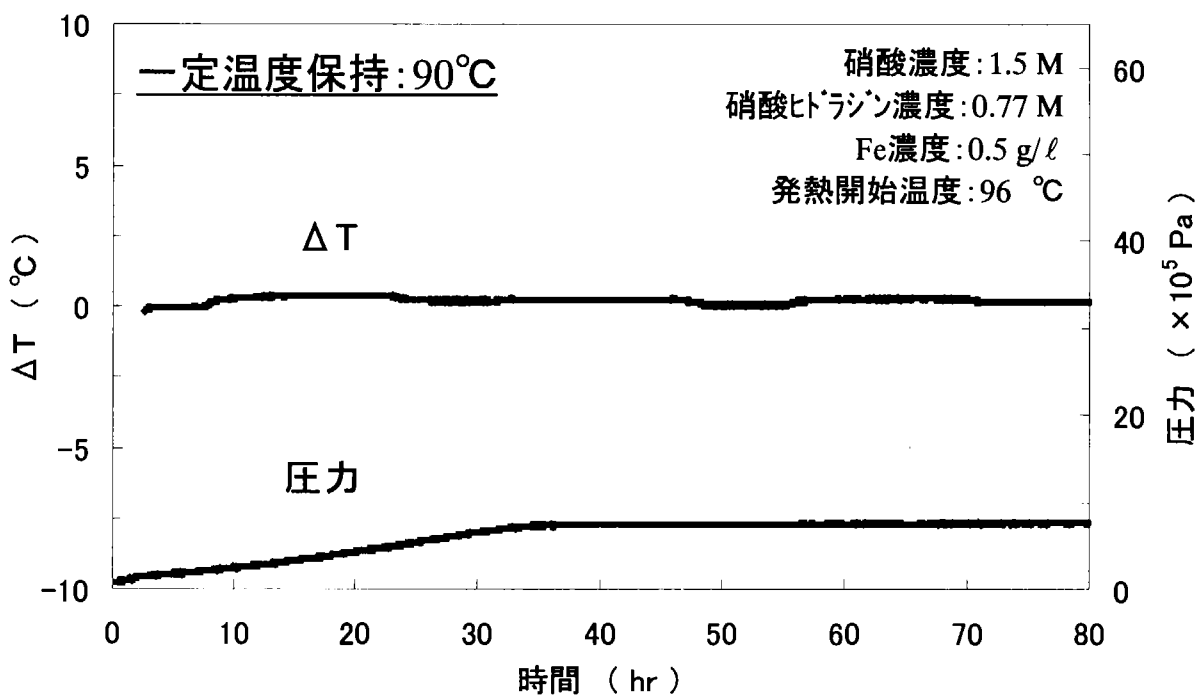


Fig.3.6 一定温度で長時間保持したときの自己加速反応性 (2)

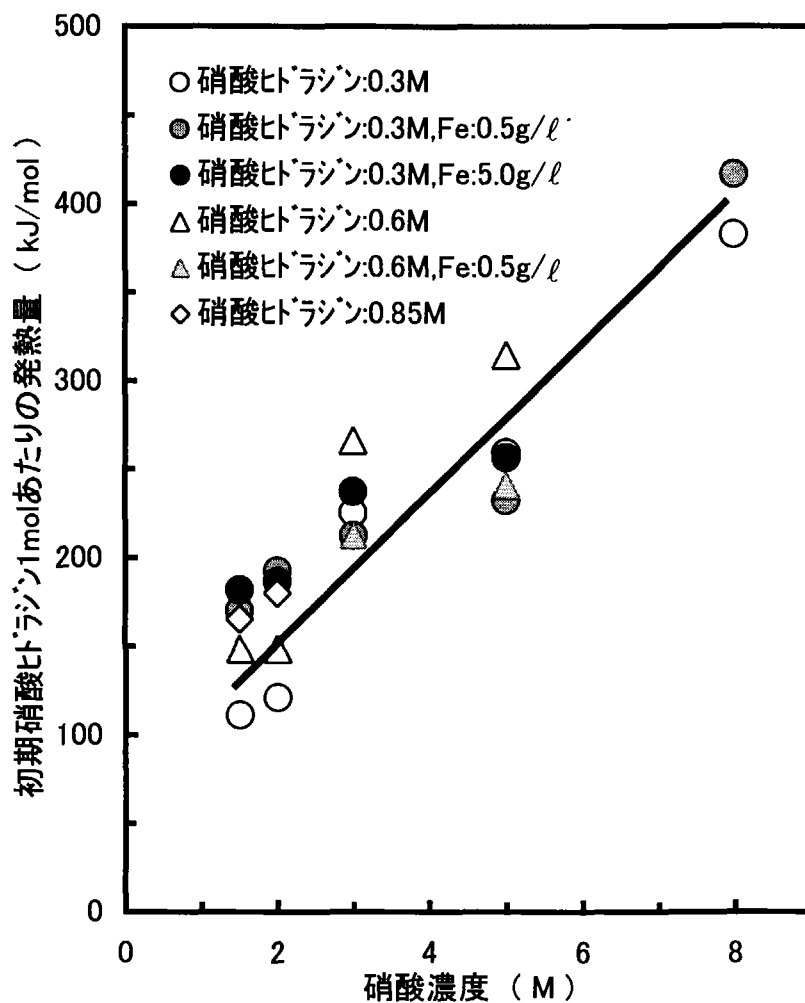


Fig.3.7 発熱量に及ぼす硝酸、硝酸ヒドラジン、鉄イオン濃度の影響

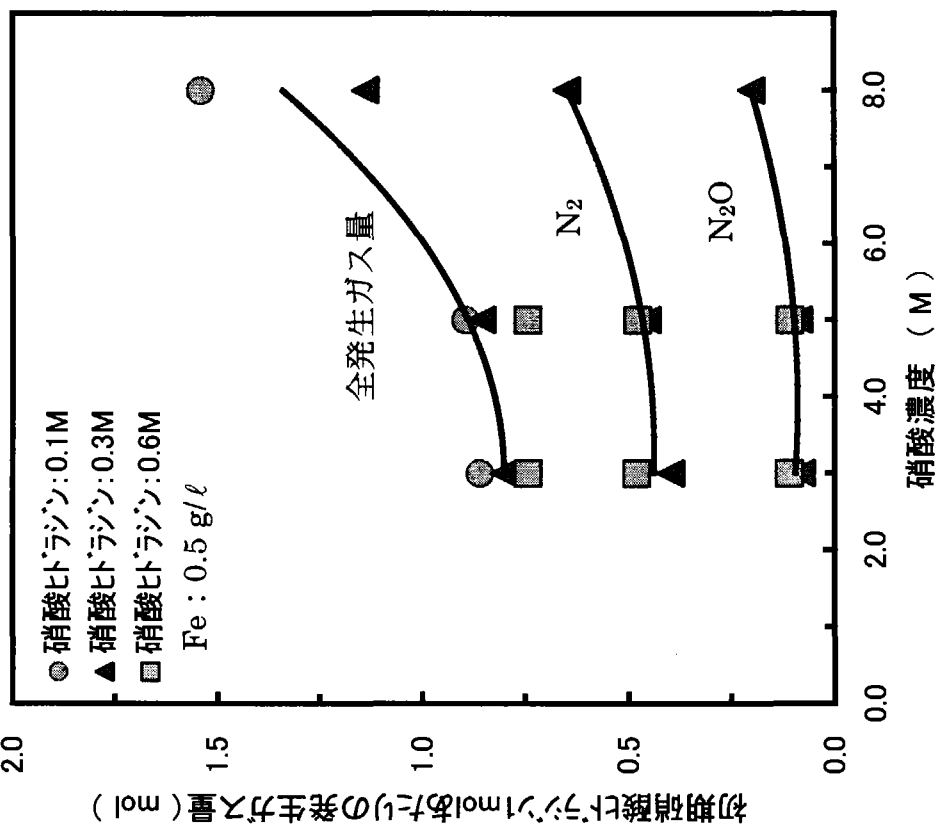


Fig.3.8 発生ガス量に及ぼす硝酸濃度、硝酸ヒドラジン濃度の影響 (100°C)

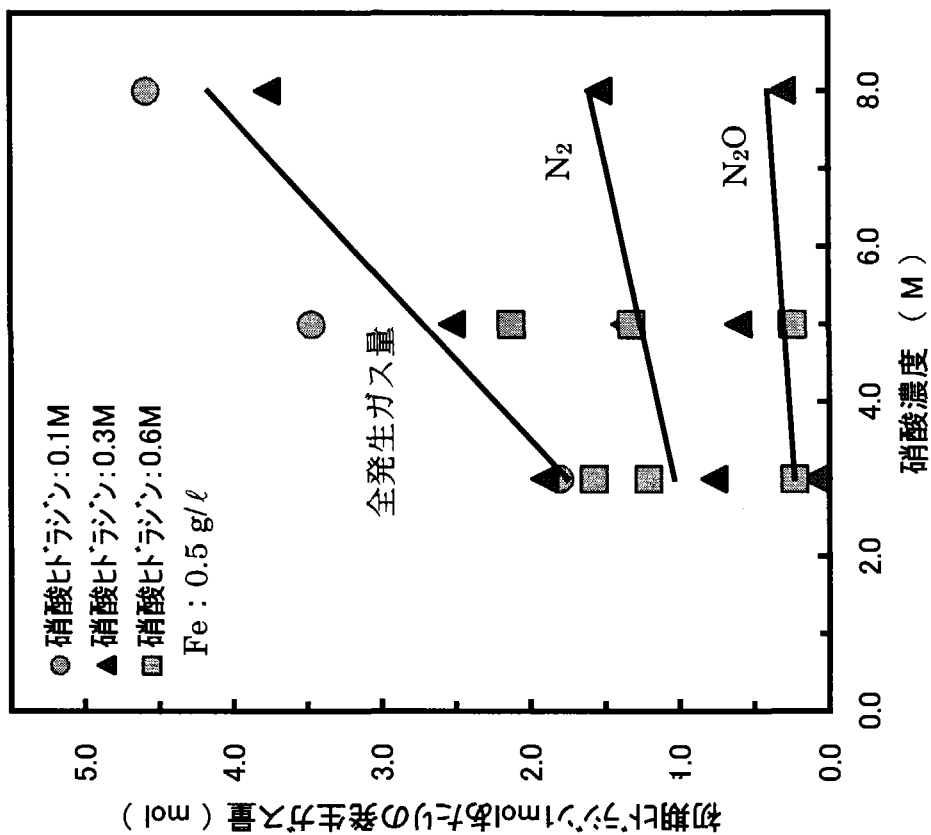


Fig.3.9 発生ガス量に及ぼす硝酸濃度、硝酸ヒドラジン濃度の影響 (200°C)

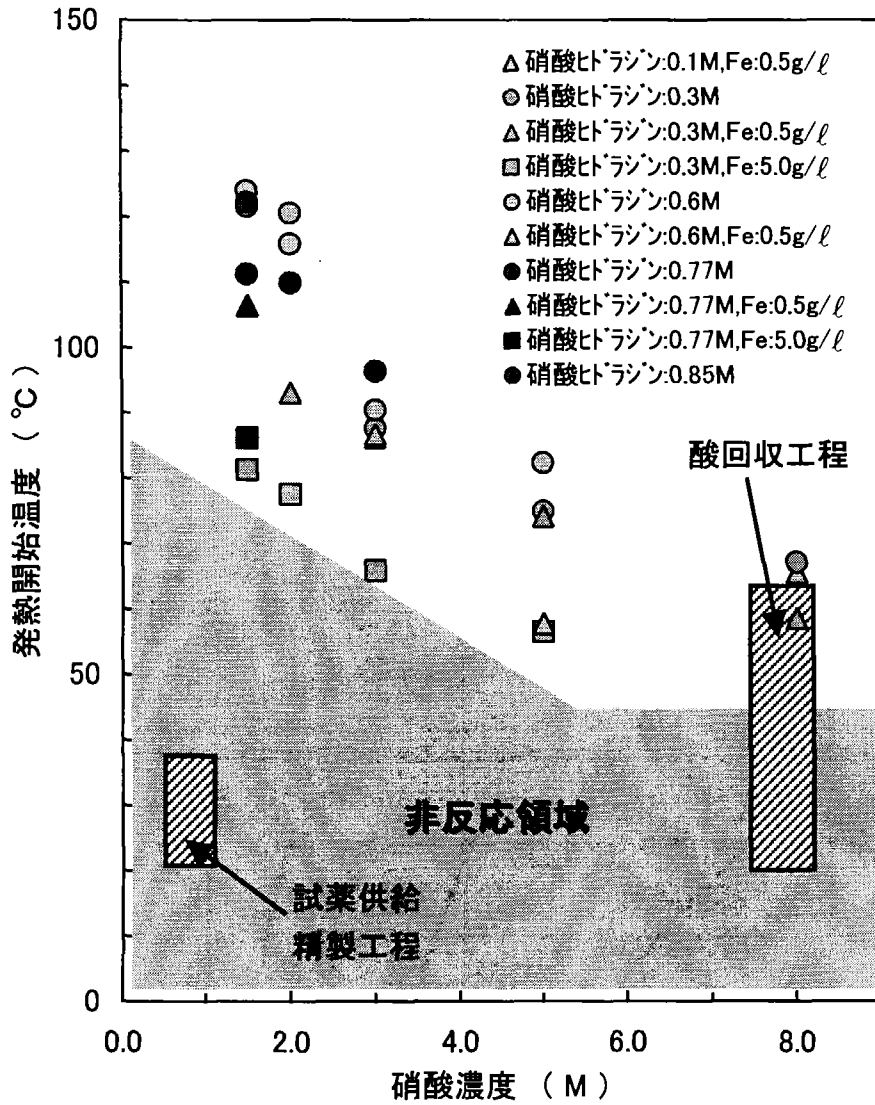


Fig.3.10 硝酸ヒドラジンの安全取扱条件

付録 A

RADEX - solo 反応熱量計による測定データ

This is a blank page.

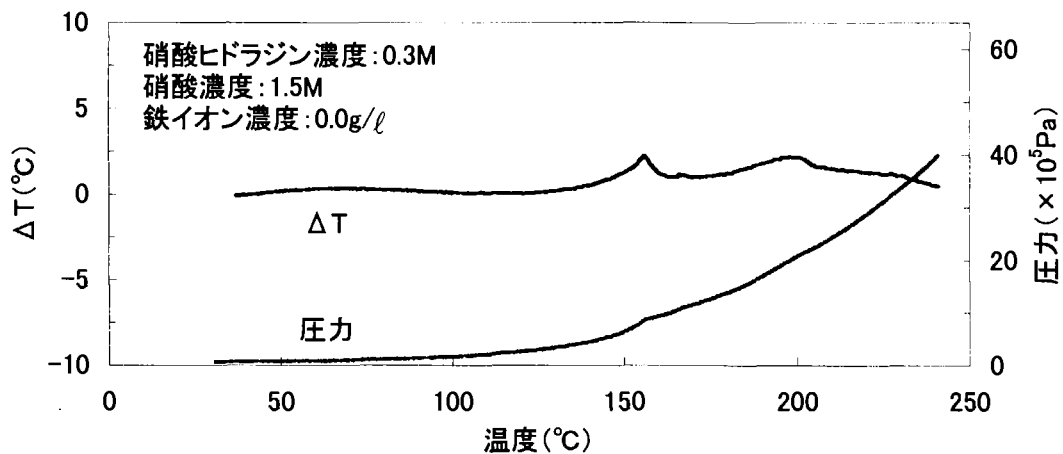


Fig.A-1 RADEX 測定データ(1)

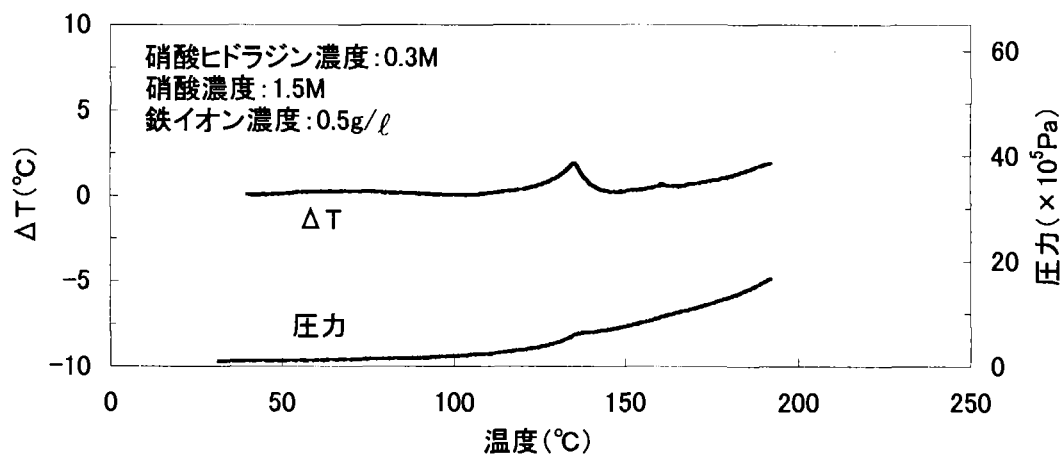


Fig.A-2 RADEX 測定データ(2)

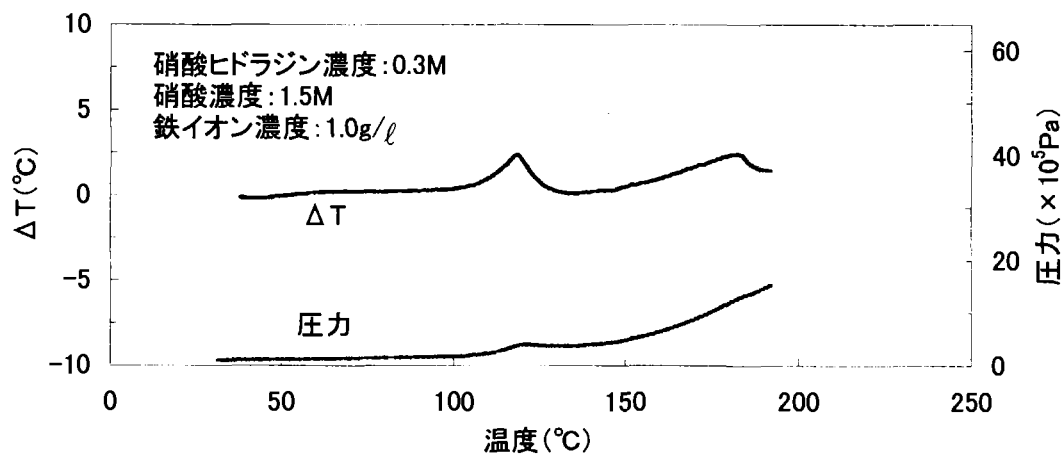


Fig.A-3 RADEX 測定データ(3)

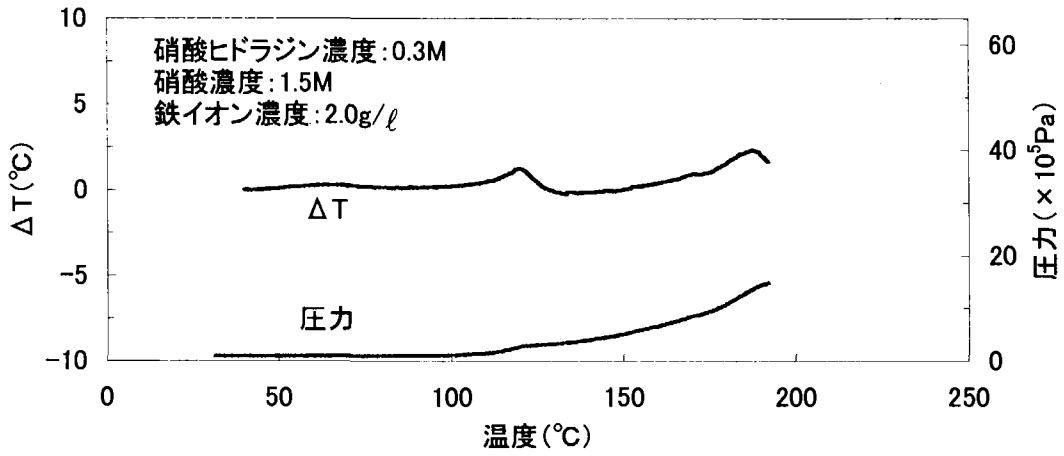


Fig.A-4 RADEX 測定データ(4)

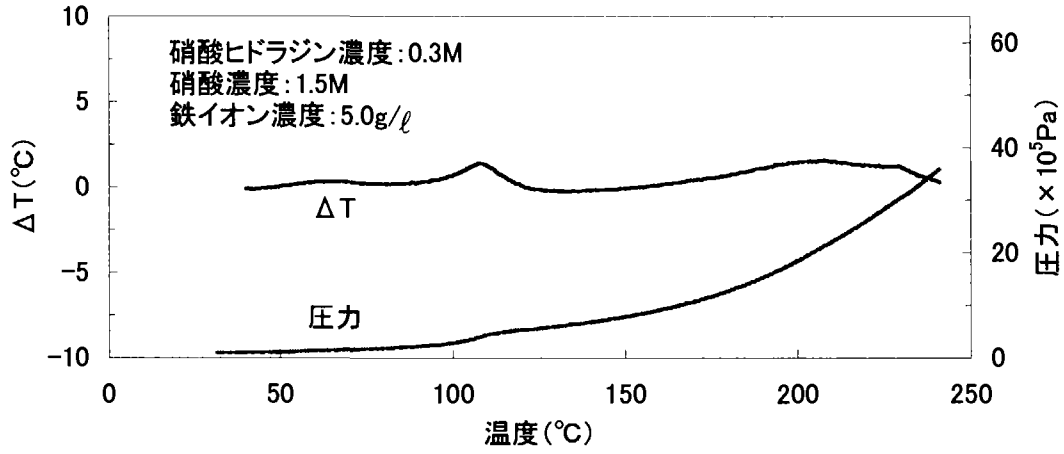


Fig.A-5 RADEX 測定データ(5)

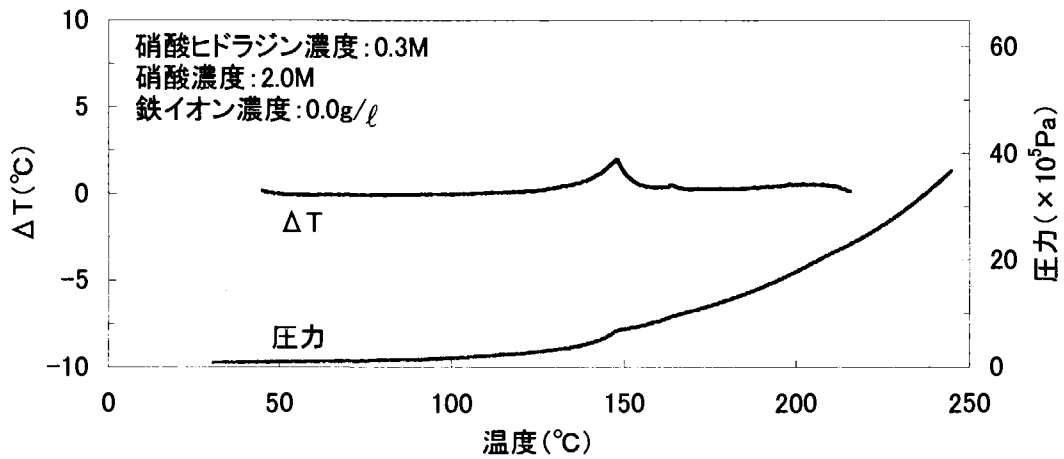


Fig.A-6 RADEX 測定データ(6)

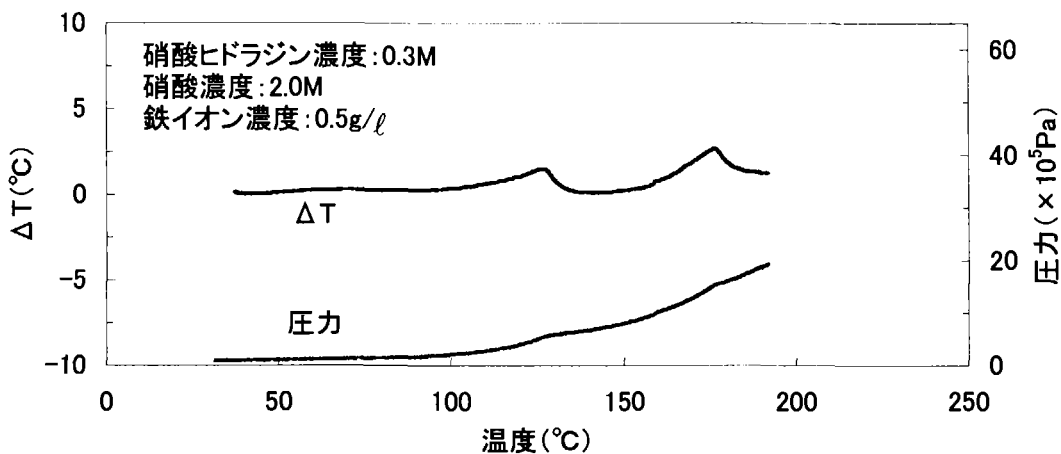


Fig.A-7 RADEX 測定データ(7)

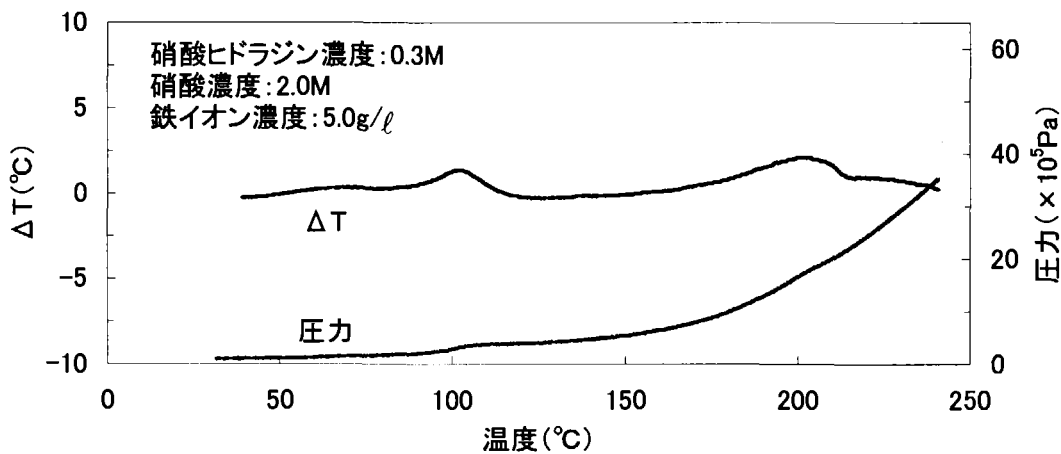


Fig.A-8 RADEX 測定データ(8)

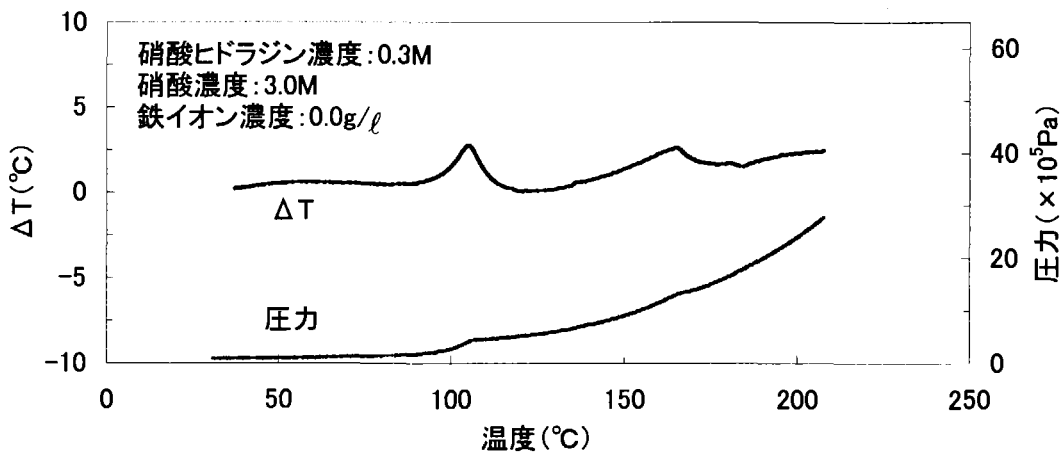


Fig.A-9 RADEX 測定データ(9)

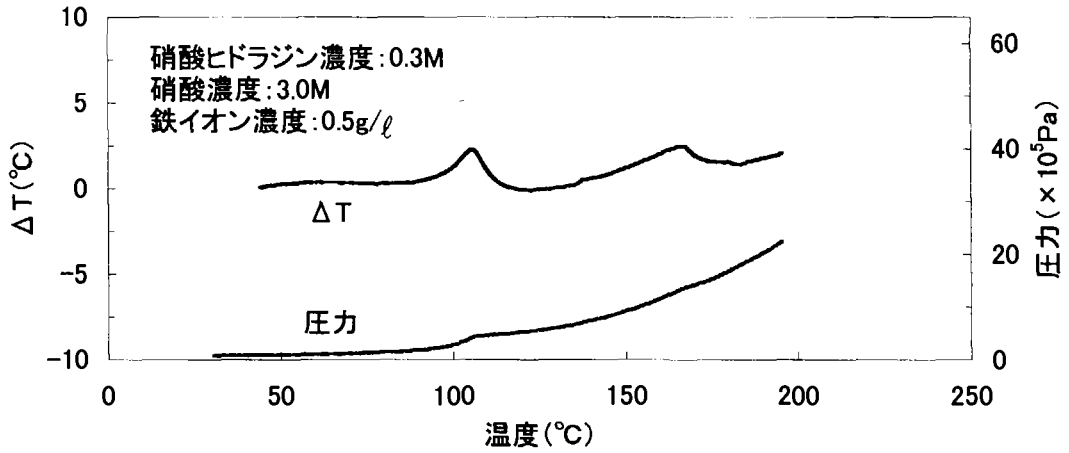


Fig.A-10 RADEX 測定データ(10)

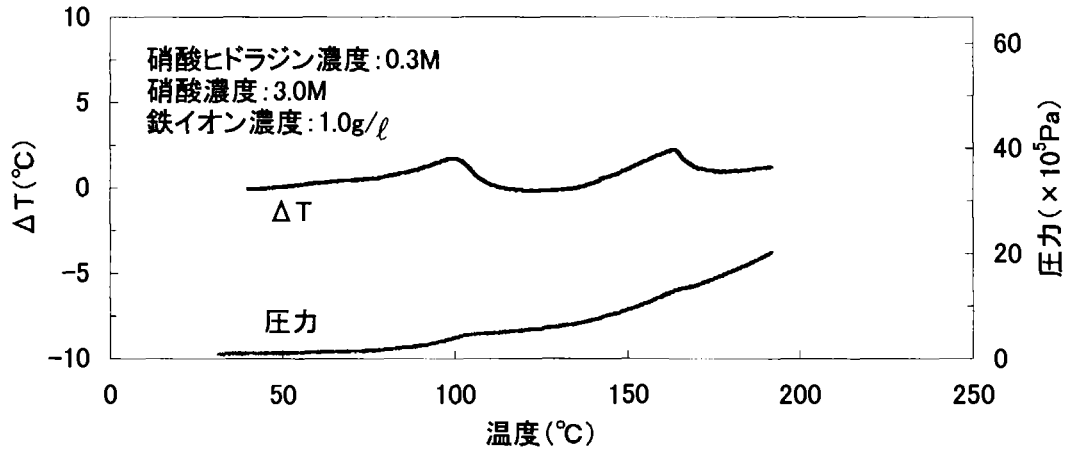


Fig.A-11 RADEX 測定データ(11)

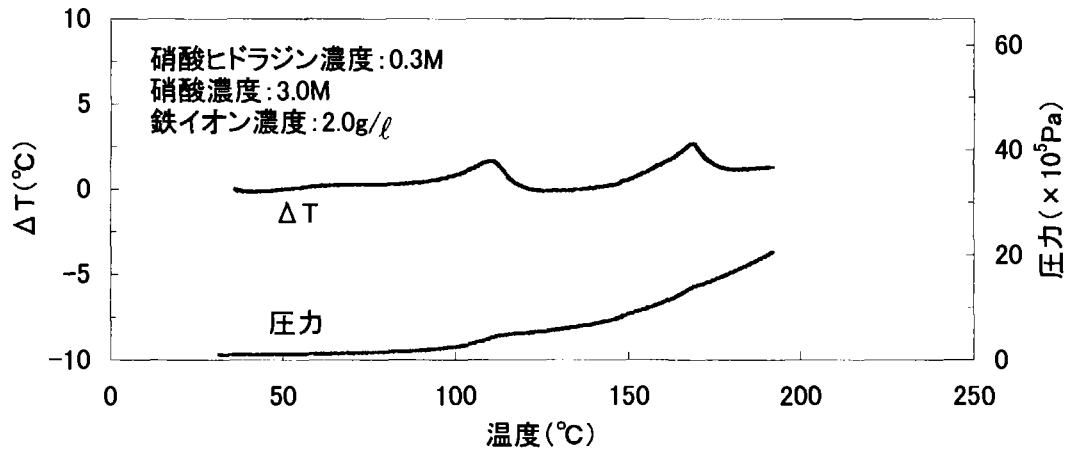


Fig.A-12 RADEX 測定データ(12)

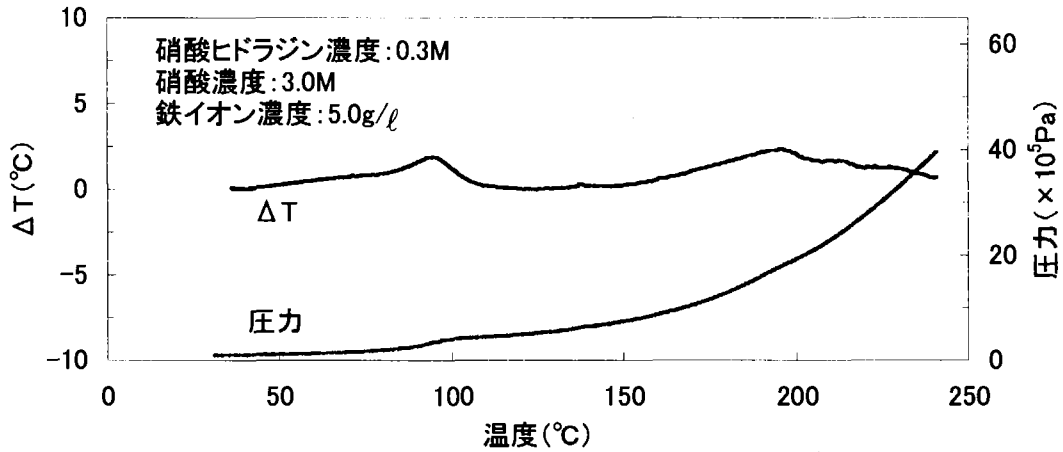


Fig.A-13 RADEX 測定データ(13)

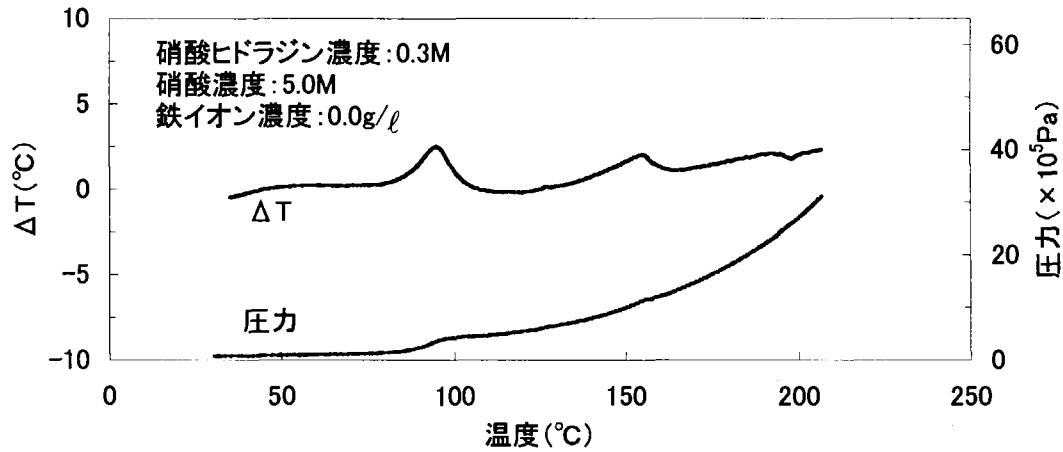


Fig.A-14 RADEX 測定データ(14)

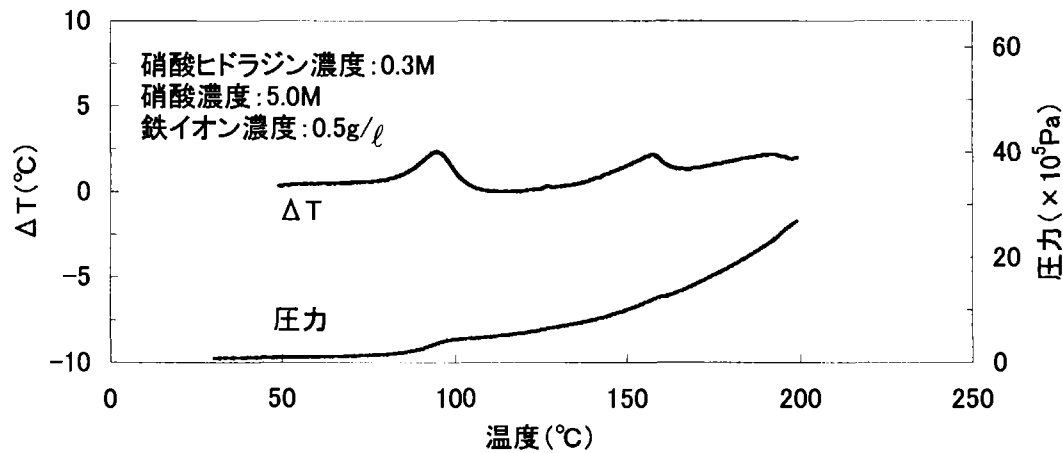


Fig.A-15 RADEX 測定データ(15)

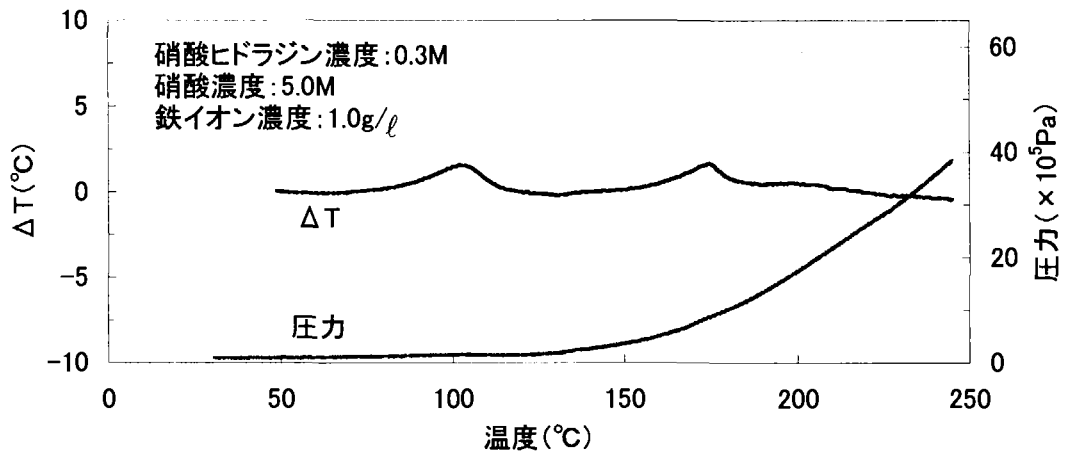


Fig.A-16 RADEX 測定データ(16)

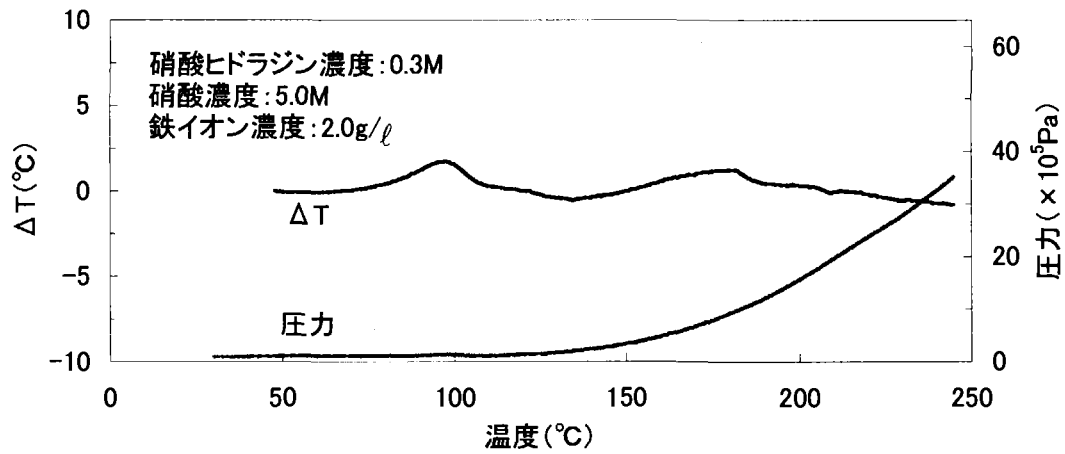


Fig.A-17 RADEX 測定データ(17)

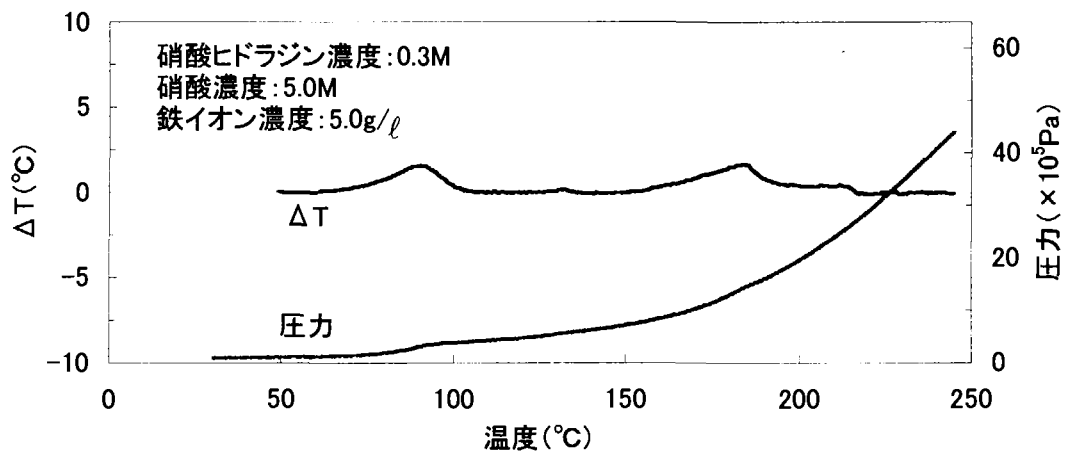


Fig.A-18 RADEX 測定データ(18)

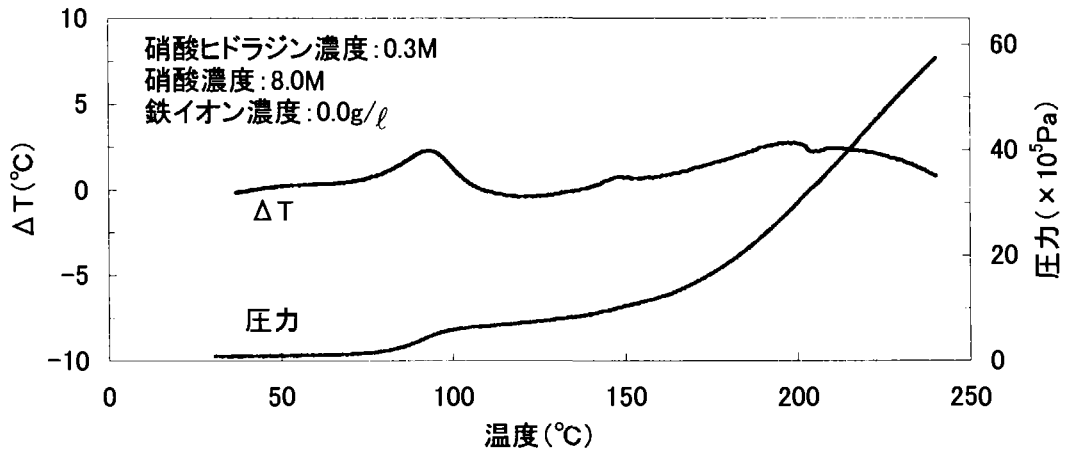


Fig.A-19 RADEX 測定データ(19)

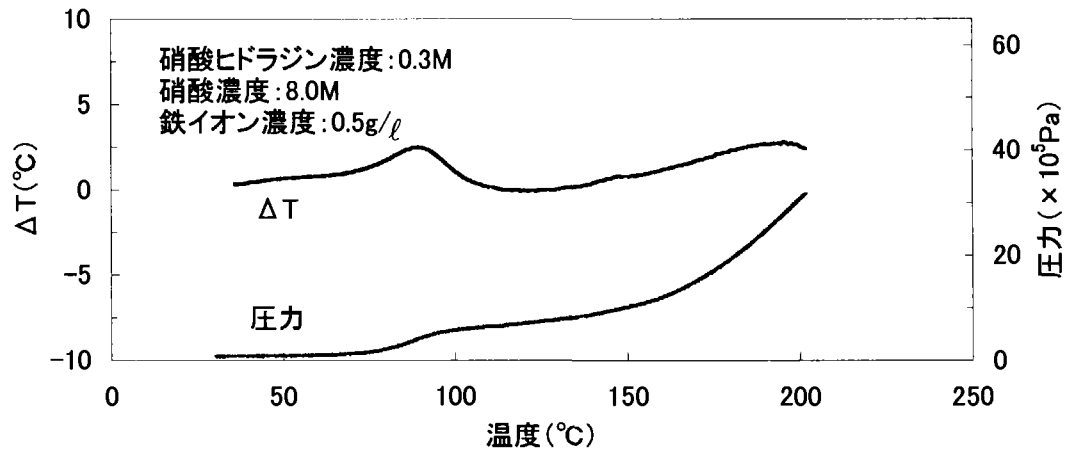


Fig.A-20 RADEX 測定データ(20)

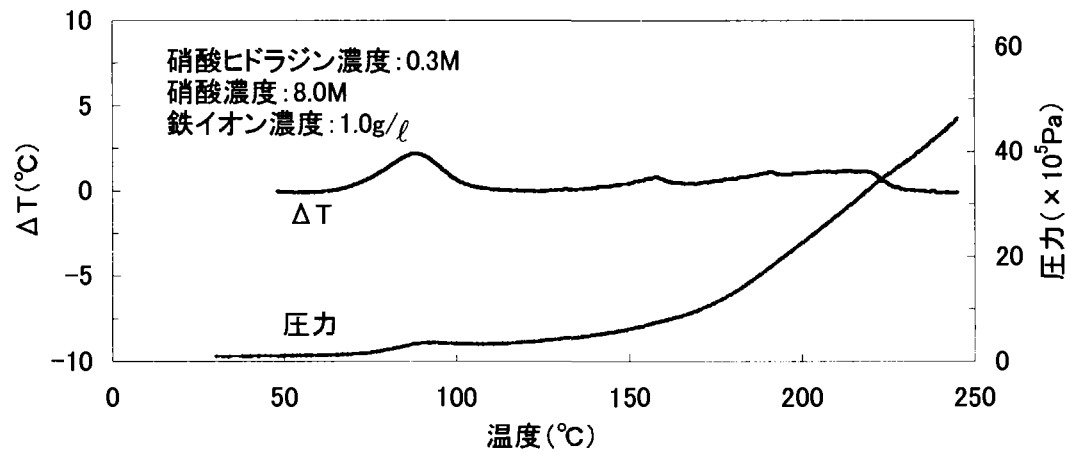


Fig.A-21 RADEX 測定データ(21)

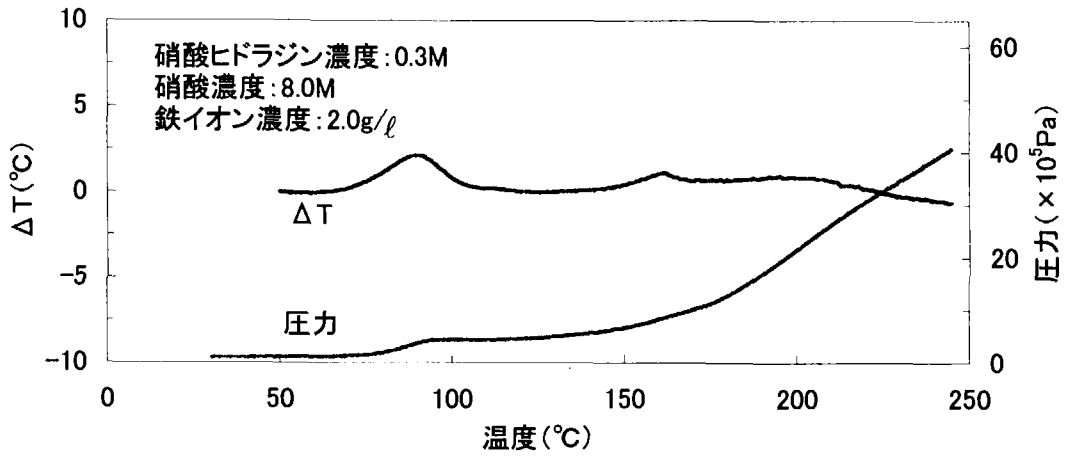


Fig.A-22 RADEX 測定データ(22)

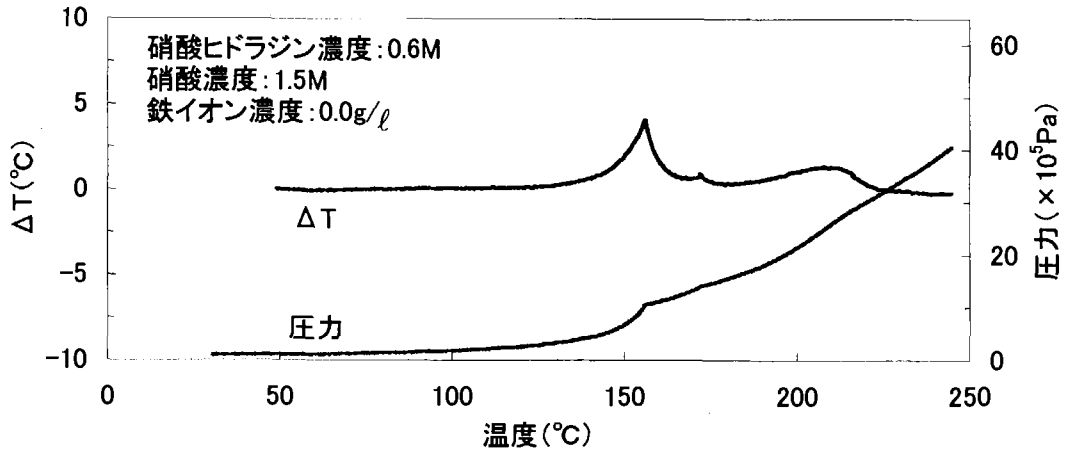


Fig.A-23 RADEX 測定データ(23)

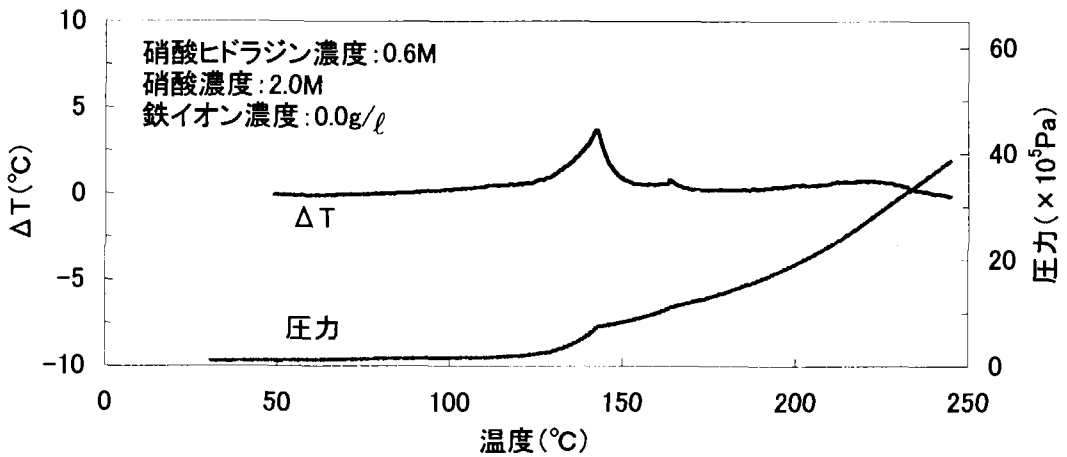


Fig.A-24 RADEX 測定データ(24)

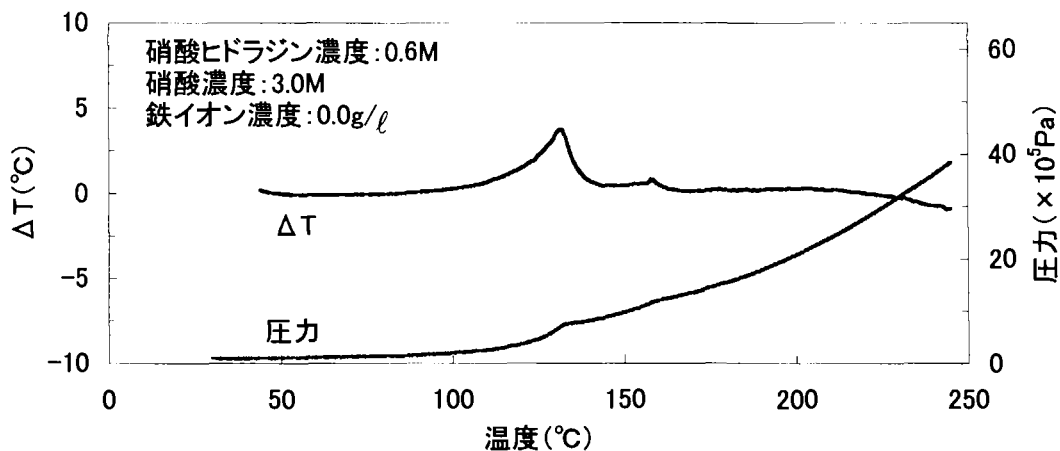


Fig.A-25 RADEX 測定データ(25)

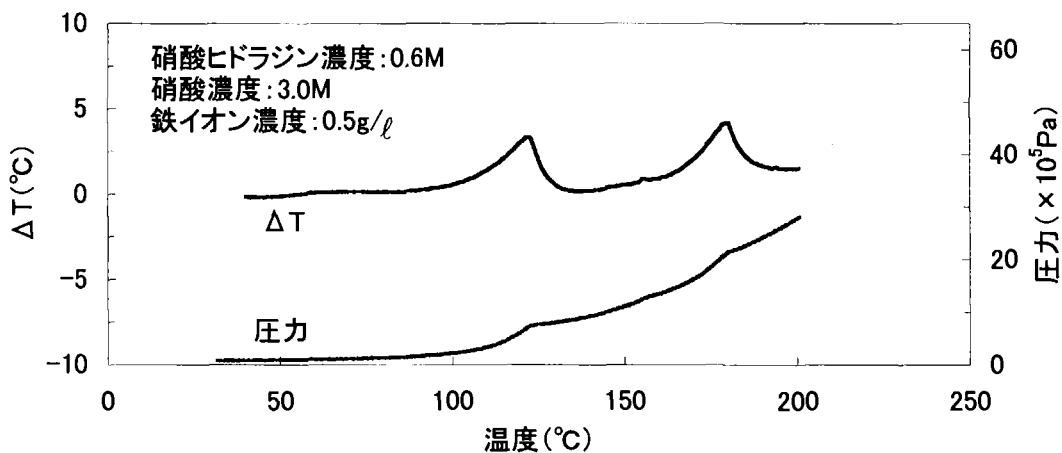


Fig.A-26 RADEX 測定データ(26)

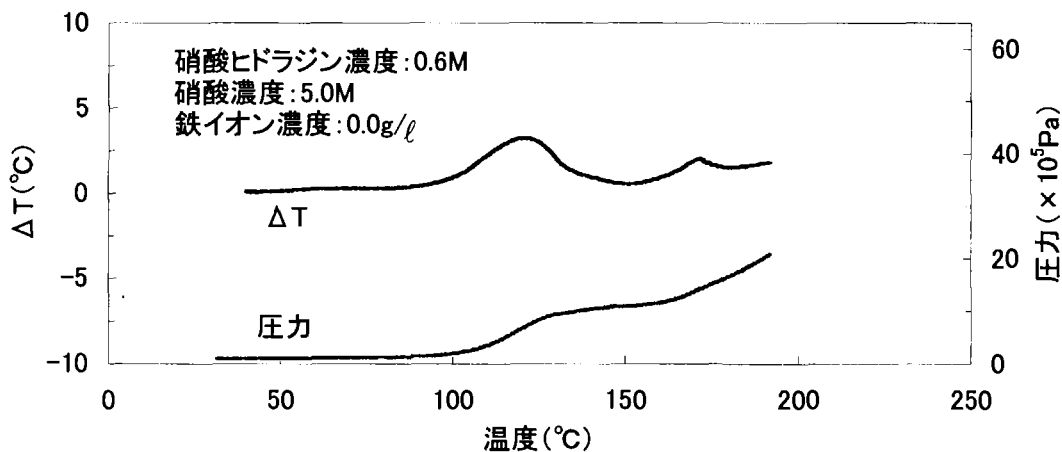


Fig.A-27 RADEX 測定データ(27)

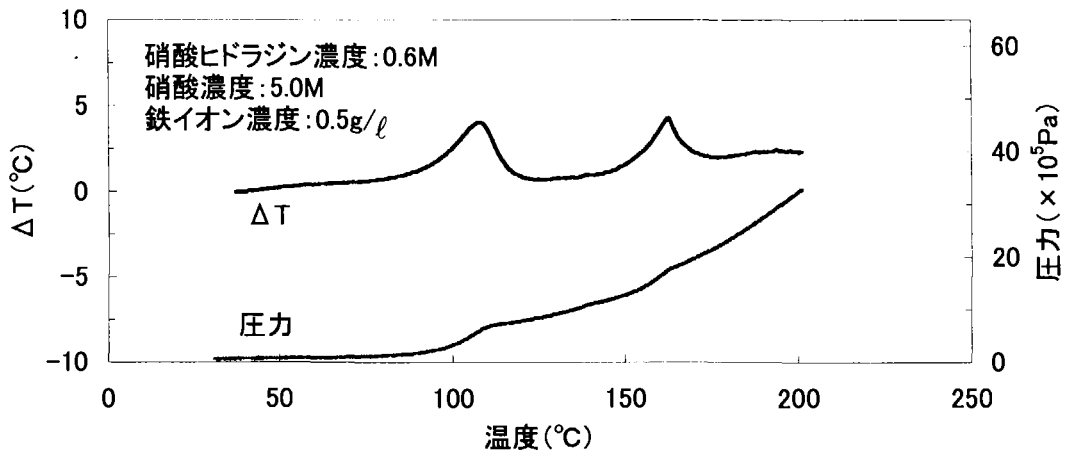


Fig.A-28 RADEX 測定データ(28)

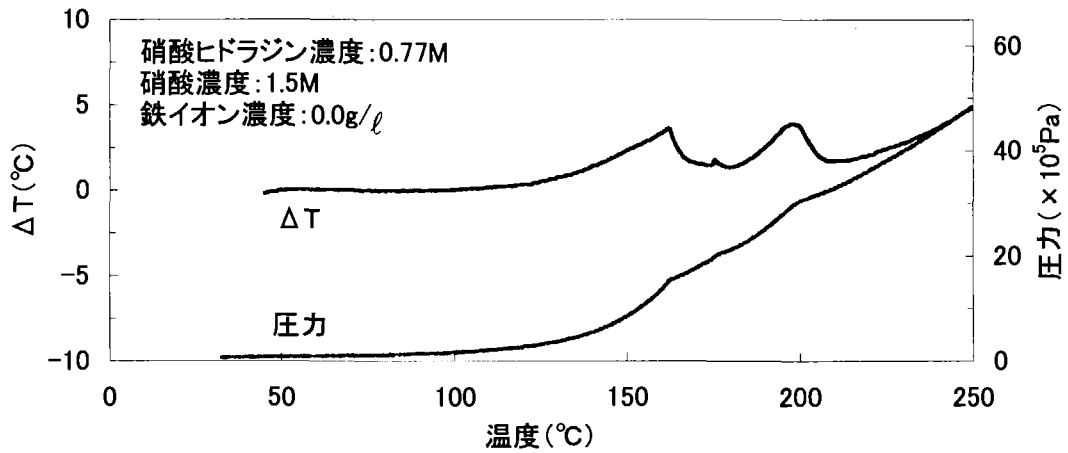


Fig.A-29 RADEX 測定データ(29)

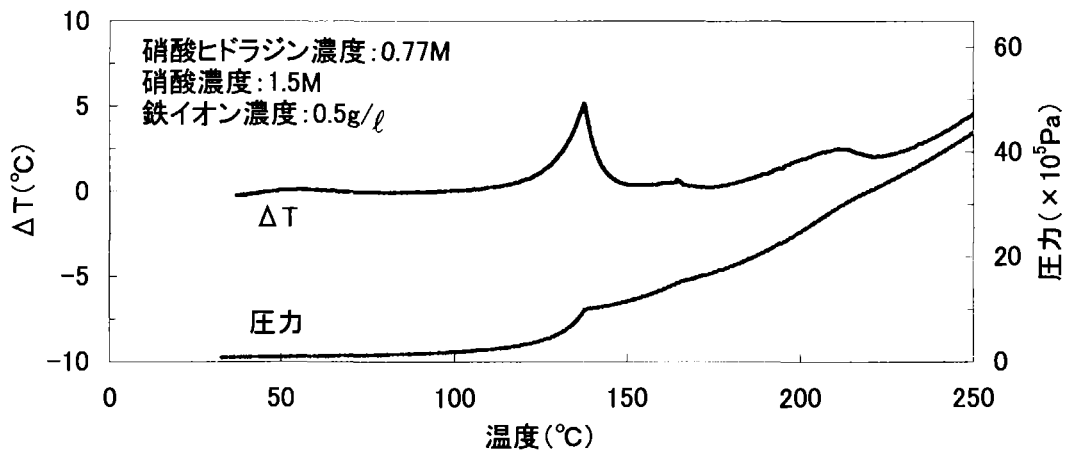


Fig.A-30 RADEX 測定データ(30)

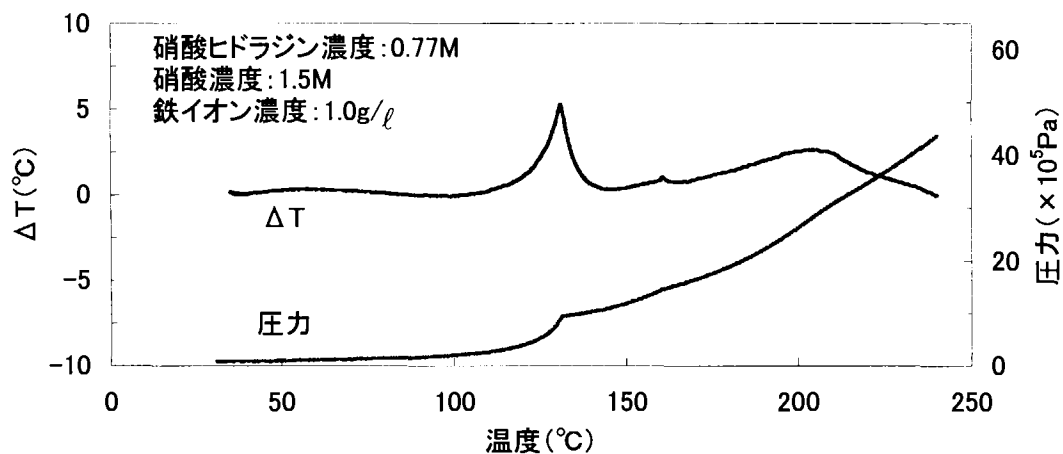


Fig.A-31 RADEX 測定データ(31)

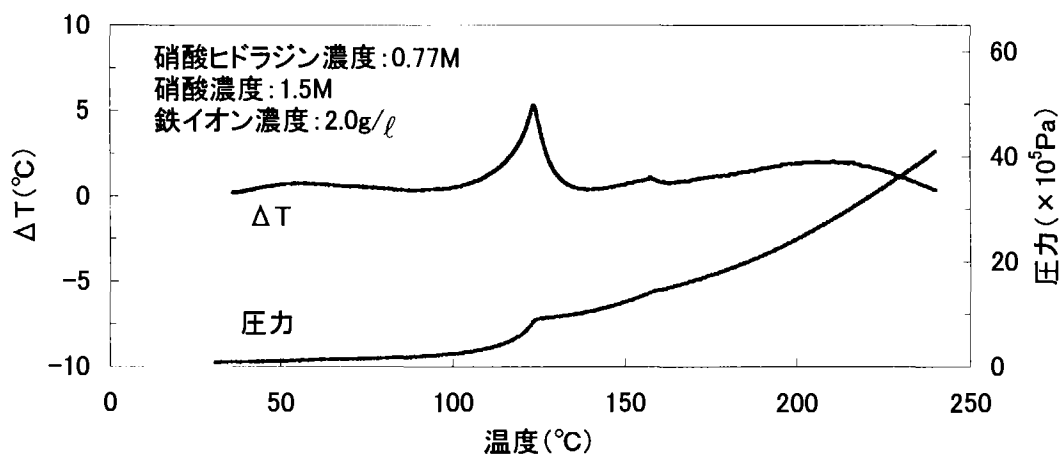


Fig.A-32 RADEX 測定データ(32)

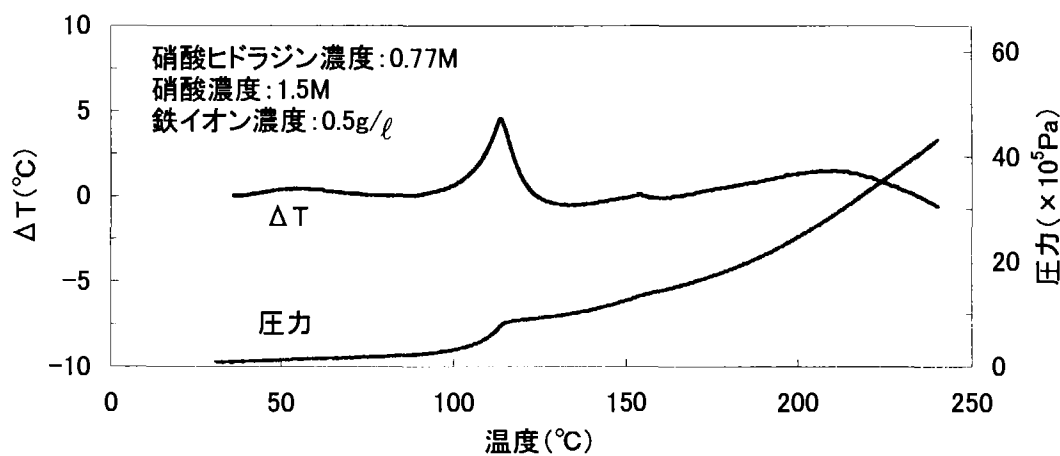


Fig.A-33 RADEX 測定データ(33)

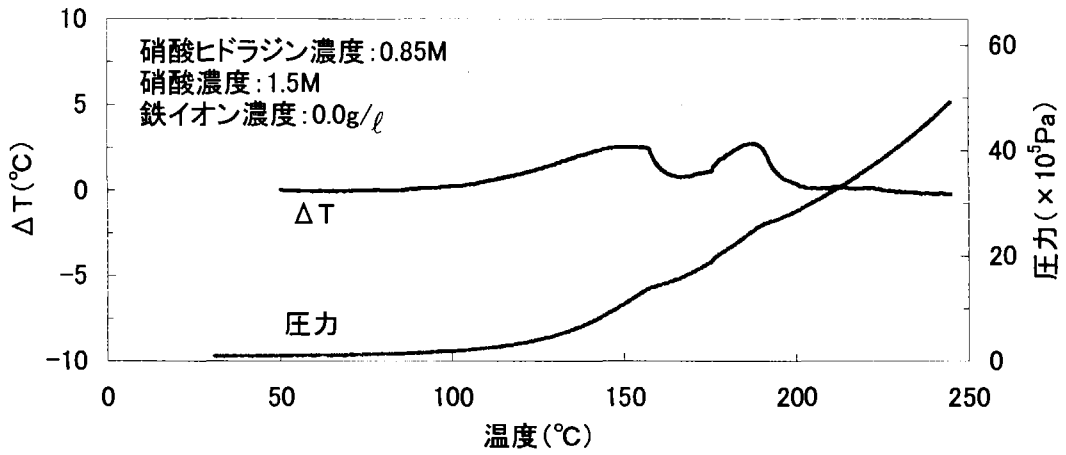


Fig.A-34 RADEX 測定データ(34)

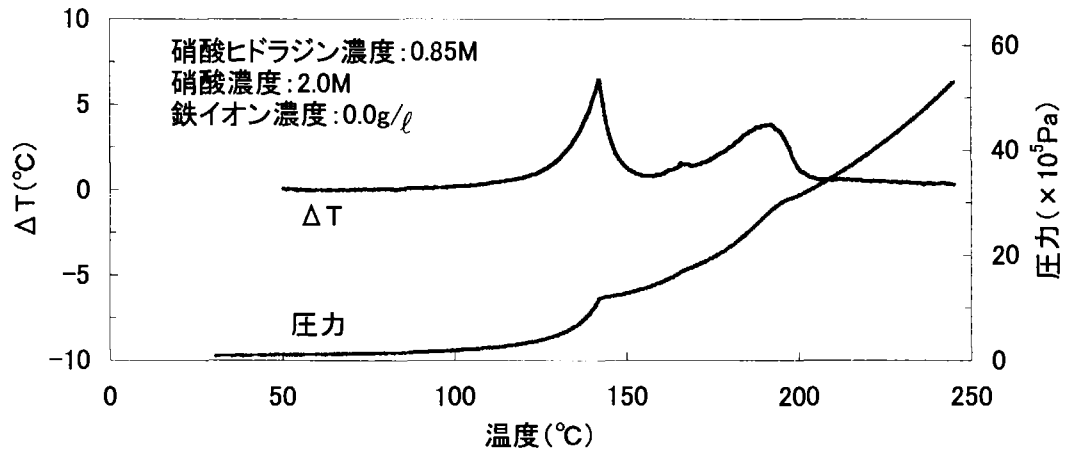


Fig.A-35 RADEX 測定データ(35)

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光照射度	ルーメン	lm	cd·sr
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²
放射線当量	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J

1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バー	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m

1 b = 100 fm = 10⁻²⁸ m²

1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa

1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²

1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq

1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg

1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy

1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J (熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J (15 °C)
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J (国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS (仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻⁷⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

硝酸溶液中硝酸ヒドラジンの安全性試験



古紙配合率100%
白度度70%再生紙を使用しています